

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: N3108 / Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management - textil

**Vývoj nosičů pro tkáňové inženýrství pomocí koaxiálního elektrostatického  
zvlákňování**

**The development of carriers for tissue engineering using a coaxial  
electrospinning**

Bc. Kateřina Matulová

KHT 067

**Vedoucí práce:** Prof. RNDr. David Lukáš, CSc.

**Počet stran práce:** 66

**Oficiální zadání:**

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 10. 5. 2011

.....  
Podpis:

## Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. RNDr. Davidu Lukášovi, CSc. za odborné vedení. Dále také Ing. Lucii Vysloužilové (*Katedra netkaných textilií*) za pomoc a cenné rady při práci na experimentální části, Ing. Pavlu Pokornému a Ing. Denise Zálešákové (*Katedra netkaných textilií*) taktéž za pomoc při experimentální části.

Mé poděkování patří především rodičům a přátelům za psychickou pomoc, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá možností výroby bikomponentních vláken (jádro-plášť) pomocí koaxiálního elektrostatického zvlákňování z hladiny. Výroba těchto vláken je možná pomocí dvoukomorového jehlového zvlákňovacího zařízení, které má však malou produktivitu. Elektrostatické zvlákňování z hladiny, by mohlo otevřít brány k velkoplošné výrobě těchto nanotextilií.

Teoretická část je věnována rešerši vědeckých prací, které se zabývají danou problematikou. Je zde nastíněn princip elektrostatického zvlákňování, podmínky ovlivňující tento proces a v neposlední řadě i požadavky materiálů takto připravených a použitých pro tkáňové inženýrství.

Experimentální část je zaměřena na tvorbu vláken typu jádro-plášť, je však rozdělena do dvou rovin. První část se zabývá vývojem nosičů pro tkáňové inženýrství, které ve svém jádře nesou léčivo, které je nutné dopravit a uvolňovat na postiženém místě v těle dle potřeby. Druhá část je vedena směrem k vývoji nosičů, na které bude přenesena živá kultivovaná tkáň a poté i s nosičem implantována do těla pacienta.

Vytvořené vzorky byly pozorovány na optickém mikroskopu a jejich vzhled nasvědčuje tomu, že se jedná o dvousložková vlákna. Výsledkem těchto experimentů je nanovlákná vrstva, která poukazuje na možnost vytvoření vláken jádro-plášť.

## **Klíčová slova**

- jádro-plášť
- koaxiální elektrostatické zvlákňování
- tkáňové inženýrství
- nanovlákná

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the possibilities of the production of bicomponent fibres (core - shell) by coaxial electrospinning from a surface. The production of these fibers is made possible by the use of a two chamber needle fibre spinner. But this machine has a low productivity. Electrospinning from a surface could lead to a large scale manufacturing of these nanotextiles.

The theoretical part is dedicated to a study of scientific papers which deal with this subject. It contains the principle of electrospinning, the conditions affecting this process and also the requirements for materials produced in this manner and used for tissue engineering.

The experimental part concentrates on the production of core -shell type of fibre, but it is separated into two parts. The first part deals with the development of carriers for tissue engineering which carry medicaments in their core which need to be transported and used in the affected body part. The second part deals with the development of carriers which will be used as substrates for a living tissue which will then be implanted together with the carrier into the body of a patient.

The produced samples were inspected by means of optical microscopy and their appearance suggests that they are bicomponent fibres. The result of these experiments is a layer of nanofibers which might be a way of producing core - envelope fibres.

## **Keywords**

- core - shell
- coaxial electrospinning
- tissue engineering
- nanofibers

## OBSAH

1. ÚVOD .....	9
1.1 Současný stav výroby nosičů .....	9
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	11
2.1 Historie .....	11
2.2 Nanotechnologie .....	12
2.2.1 Nanomateriály .....	13
2.3 Elektrostatické zvlákňování .....	15
2.3.1 Metody elektrostatického zvlákňování .....	16
2.3.2 Princip elektrostatického zvlákňování .....	17
2.3.3 Taylorův kužel .....	20
2.3.4. Rayleighova nestabilita .....	21
2.3.5 Podmínky ovlivňující proces elektrostatického zvlákňování .....	22
2.4 Využití nanovláken .....	23
2.5 Tkáňové inženýrství .....	24
2.5.1 Materiály schopné rozkladu pro tkáňové inženýrství .....	25
2.5.2. Proces tkáňového inženýrství .....	26
2.5.3 Vlákná jádro-plášť .....	26
3 PRŮZKUM TRHU .....	29
3.1 Nanopharma .....	29
3.2. Elmarco s.r.o .....	30
3.3 PEGAS NONWOVENS s.r.o. ....	32
3.4. Kertak Nanotechnology, s.r.o. ....	39
3.5. Direct Alpine .....	40
4. PATENTY .....	42
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	45
5.1. Experimentální zařízení, vybavenost pracoviště .....	45
5.2. Podstata experimentální výroby nosiče tvořeného vláknem jádro-plášť .....	47
5.2.1. První skupina experimentů .....	47
5.2.2. Druhá skupina experimentů .....	49
5.3. Zařízení pro koaxiální elektrostatické zvlákňování .....	52
5.3.1. Bazének .....	53

5.3.2. Přeplovací spinner .....	58
6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ .....	60
6.1. Výsledky experimentů při užití bazénku .....	60
6.1.1. Dílčí výsledky první skupiny experimentů .....	60
6.1.2. Dílčí výsledky druhé skupiny experimentů .....	65
6.2. Výsledky experimentů při použití přeplovacího spinneru .....	65
ZÁVĚR .....	66
Použitá literatura .....	68



# 1. ÚVOD

Průmyslový pokrok dnešní doby sebou přináší mnoho moderních technologií, které se nezádržitelně vyvíjí a často přináší ohromující výsledky, jež v rukou člověka znamenají další krůček k „dokonalosti“. Jednou z moderních a převratných technologií současnosti je nanotechnologie zabývající se zejména využitím vlastností a struktury nanočástic v materiálech.

Tato technologie je využitelná v mnoha oborech a odvětvích lidské činnosti. Uplatnění nachází především v textilním průmyslu, zdravotnictví, elektronice, strojírenství, chemickém, optickém, automobilovém ale i kosmickém či vojenském průmyslu.[1]

Například v textilním průmyslu se dosud nanovlákná zpracovávají jen ve formě netkaných textilií, kde principem je vytvoření vrstvy z náhodně uložených vláken.[2] Ve zdravotnictví má nanotechnologie široké pole využití. V biomedicině je například možné pomocí této technologie získat komponenty umělých orgánů nebo dopravit léčivou látku uvnitř těla na konkrétní místo.[1] Nanotechnologii lze také využít k tvorbě nanovláknenných vrstev sloužících jako filtrační médium apod.[3]

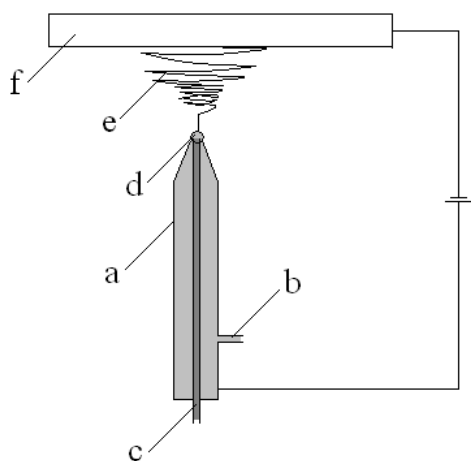
Velký úspěch při užití nanovlákná spočívá především v tom, že má tisícinásobně větší povrchovou plochu než například mikrovlákná, vysokou porozitu a vynikající tuhost a houževnatost. Vědci uvádějí nanotechnologii jako vědu třetího tisíciletí. Po vyřešení výrobně technických problémů bude možné použít nanovlákná v mnoha dalších oborech. Mimo podstatného zlepšení u kompozitů, filtrů nebo součástí ochranných oděvů, se také počítá například s výrobou tzv. solárních plachet k pohonu vesmírných plavidel aj.[2]

V rámci dané práce je navržen optimální způsob výroby nanovláken, které v tomto případě slouží jako takzvaný nosič, jenž je v současné době využíván především v tkáňovém inženýrství. Pro samotnou výrobu nanovláken je využita metoda koaxiálního elektrostatického zvlákňování z hladiny.

## 1.1 Současný stav výroby nosičů

V současné době se pro výrobu nosičů používají monokomponentní vlákna, ale i vlákna typu jádro-plášť, jejichž struktura je tvořena dvěma odlišnými materiály. Pro výrobu nanovláken tohoto typu se nyní používá metoda elektrostatického zvlákňování z dvoukomorové trysky. Nevýhodou zvlákňování z této trysky je především nízká produktivita výroby. Jde o vznik vláken z bodového místa, a proto nevzniká velké množství

vláken. Schéma používaného principu zvlákňování z dvoukomorové trysky je znázorněno na *obr.1*.



*Obr. 1 Schéma elektrostatického zvlákňování dvoukomorové trysky[4]*

- a) Komora materiálu pláště vlákna*
- b) Přívod materiálu pláště vlákna*
- c) Komora a přívod materiálu jádra vlákna*
- d) Taylorův kužel*
- e) Vytvořená nanovlákna*
- f) Uzemněný nosný kolektor*

Vizí je proto zhotovit zařízení, které umožní vytvořit velkoplošný materiál tvořený vlákny jádro-plášť, z něhož by bylo možné oddělit vždy část požadované velikosti a využít ji jako nosič daného léčiva.

Tato problematika je řešena v experimentální části této práce a je zaměřena na zvlákňování z volného povrchu hladiny.

## **2. LITERÁRNÍ REŠERŠE**

Tato kapitola je zaměřena na historii, nanotechnologie a principy elektrostatického zvlákňování.

### **2.1 Historie**

Počátky historie nanovláken sahají do konce 19. století a jsou produktem náhody při pokusech s elektrostatickým předáním.[5] Jako první nanovláknem byla připravena vlákna uhlíková v roce 1889. Dále byly konány pokusy s nanovláknem i na počátku 20. století. V tomto století význam nanovláken vzrostl až po zavedení do výroby syntetických polymerních vláken a na nich objeveném elektrostatickém zvlákňování. První patenty na elektrostatické zvlákňování se objevily v letech 1934 až 1944. V roce 1952 uměli Vonnegut a Neubauer vyrobit proud vysoce elektrifikovaných uniformních kapiček o průměru 0,1 mm a o tři roky později vyzkoumal Drozin rozptylování řady tekutin do aerosolů při vysokém elektrickém potenciálu. Další krok učinil v roce 1966 Simon, jenž patentoval přístroj na výrobu ultratenkých a ultralehkých nanovláknenných tkanin s různými vzorky při použití elektrického zvlákňování. Zjistil, že vlákna z nízkoviskózních roztoků měla tendenci se zkracovat a zjemňovat, zatímco vlákna z vysoceviskózních roztoků byla poměrně stále spojitá. V roce 1971 Baumgarten zhotovil přístroj k elektrovlákňování akrylických vláken s průměrem v rozmezí 0,05 – 1,1 mikronů. Zvlákňovaná kapka se uvolňovala z kapilárové trubky z nerezové oceli a její stálá velikost byla udržována úpravou příváděcí rychlosti infúzní pumpy. Kapilárová trubka byla spojena s elektrodou o vysokém napětí, zatímco vlákna byla zachycována na uzemněné kovové cloně. Základem pro skutečný rozvoj nanotechnologie se stal v roce 1980 tunelový mikroskop, který byl schopný zhotovovat snímky jednotlivých atomů na povrchu materiálu, v osmdesátých letech pak přišly na trh také první výrobky z nanovláken.[2] V roce 2004 se Liberecká společnost Elmarco zabývající se nanotechnologiemi spojila s Technickou univerzitou v Liberci a vyvinula nejen postup, díky němuž lze vlákna tisíckrát tenčí než lidský vlas vyrábět v průmyslovém měřítku, ale také výrobní stroj, který jinde ve světě neexistoval. Unikátní technologii pojmenovali Nanospider<sup>TM</sup> a stejný název nese i stroj. Tento stroj si záhy získal velkou pozornost i v zahraničí, kde je o něj velký zájem.[6]

## 2.2 Nanotechnologie

Nanotechnologie se řadí k jednomu z nejčastěji diskutovaných technologií současnosti. Definice pojmu „nanotechnologie“ není striktní a u různých autorů se liší. Nicméně, jako nanotechnologie se obecně označuje vědní obor výzkumu a vývoje, který se zabývá cíleným vytvářením a využíváním struktur materiálů v měřítku několika nanometrů alespoň v jednom rozměru (0,1-100 nm). Konstrukčními prvky nanotechnologie jsou molekuly a dokonce i samotné atomy. Nanotechnologie zahrnuje oblasti vědy a technologie, jejichž cílem je přesné ovládání jednotlivých atomů a molekul tak, aby vznikl nějaký objekt anebo struktura s novými vlastnostmi (elektrickými, optickými, fyzikálními apod.), které lze pochopit a ovládnout. [7]

Využití nanotechnologií a nanomateriálů je velmi rozsáhlé, již v současnosti nalézají uplatnění v mnoha oblastech běžného života jako je:

- elektronika (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika),
- zdravotnictví (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky),
- strojírenství (supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné laky, obráběcí nástroje),
- stavebnictví nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady),
- chemický průmysl (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza, aerogely),
- textilní průmysl (nemačkávé, hydrofóbní a nešpinící se tkaniny),
- elektrotechnický průmysl (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články),
- optický průmysl (optické filtry, fotonické krystaly a fotonická vlákna, integrovaná optika),
- automobilový průmysl (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel),
- kosmický průmysl (katalyzátory, odolné povrchy satelitů),
- vojenský průmysl (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů),
- životní prostředí (odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin). [7]

### 2.2.1. Nanomateriály

Podle „Studie nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA“ se nanomateriály vyznačují následujícími společnými znaky [8], [9]:

- 1) „Stavebními jednotkami jsou nanočástice s definovanými vlastnostmi: rozměry, tvarem, atomovou strukturou, krystalinitou, mezifázovým rozhraním, homogenním/heterogenním složením a chemickým složením. Rozměry jsou limitovány v oblasti od molekul k pevným částicím menším než 100 nm.
- 2) Tyto stavební jednotky jsou uspořádané v makroskopických multi-klastrových materiálech s velmi různorodým topologickým pořádkem. Chemicky identické částice mohou být těsně uspořádány a kompaktovány za vzniku hranic zrn. Částice mohou být oddělené nebo spojené koalescencí nebo podložkou a mohou vytvářet nanodrátky, nanotrubičky, nanokompozity, keramické nebo jiné tenké filmy nebo vrstvy.
- 3) Stavební jednotky a jejich topologie mohou sloužit pro vytváření rozměrnějších materiálů vhodných pro technické aplikace.

Nanomateriály (nanostrukturní materiály) jsou ty, jejichž nové vlastnosti jsou určeny charakteristickými znaky (částice, klastry, dutiny) o rozměrech mezi 1-100 nm, přinejmenším ve dvou směrech.<sup>1</sup>

#### **Polymery**

Makromolekula – polymer, může měnit své vlastnosti. Může se chovat jako pevná látka a tak být použita na výrobu sáčků, textilií a dalších materiálů, nebo může být rozpuštěna v rozpouštědle a vytvořit roztok. Polymery se dají například obrábět na obráběcím stroji, nebo je možné je jako plasty roztavit a nalít do různých forem a připravit tak nové výrobky [9], [10].

Polymery nabízejí obrovskou škálu materiálových možností, jejichž vlastnosti lze připravit „na míru“, podle potřeby – materiály nehořlavé, ohebné i tuhé, nárazuvzdorné, pevné i křehké nebo třeba folie. Polymery se vyskytují všude od kartáčku na zuby, pneumatik, obalů po součásti letadel a aut. Jednou z forem jsou i tzv. směrovací léčiva, které dokážou

---

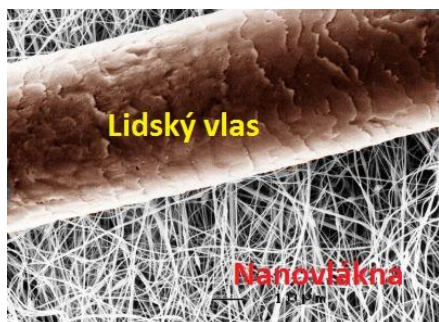
<sup>1</sup> Poznámka: V kapitole 2.4 bude podrobněji rozepsáno využití nanotechnologie, respektive nanovláken, v odvětvích týkajících se zaměření studia autorky diplomové práce.

doprovazet cytostatikum v netoxické formě například do nádoru. Jednoduše řečeno, polymer je vlastně velká makromolekula, do které se spojil velký počet malých molekul. Používáme-li polymerní nanomateriály, můžeme například vytvořit stavební materiál, který bude naprosto nehořlavý nebo mimořádně tvrdý [9].

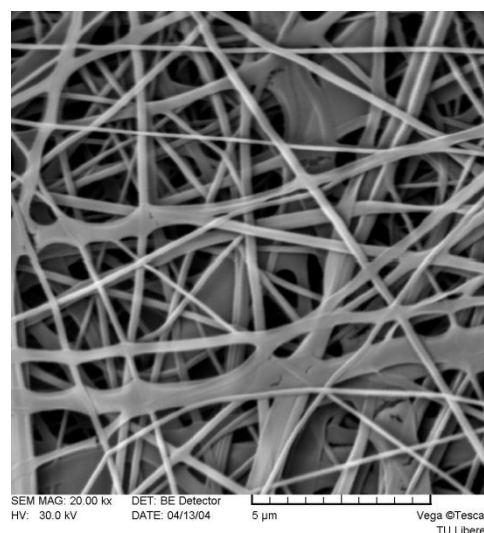
### **Nanovlákná**

Pokud jde o definici nanovlákná, lze jednoduše říci, že se jedná o vlákna o průměru menším než 1000 nm. Obecná velikost nanovláken se pohybuje v rozmezí 200 – 600 nm. Vedle nejčastějších polymerních nanovláken jsou možná i nanovlákná kovová, skleněná, keramická a uhlíková.

Nanovlákná jsou jemná jen několik atomů, tedy tisíckrát tenčí než normální textilní vlákna o tloušťce mezi 10 – 40 tisíci nm. Mezi jejich základní vlastnosti patří například obrovský měrný povrch, vynikající mechanické vlastnosti v poměru k jejich váze, malá velikost pórů. Vzhledem k nízké hmotnosti je na jejich výrobu třeba poměrně malé množství polymerů. I když jsou některé polymery drahé, nanovlákná přijdou relativně levně, řádově na tisíce korun za metr čtvereční [11]. Dále mají neuvěřitelnou transparentnost, protože tato vlákna mohou být tenčí než nejkratší vlnová délka světla. Pro představu je na *obr. 2* znázorněno porovnání velikosti nanovláken s velikostí lidského vlasu.



*Obr. 2 Srovnání velikostí nanovláken a lidského vlasu [12]*



*Obr. 3 Nanovlákná [13]*

V současnosti je vyvinuto několik metod výroby nanovláken:

- 1) Tažením proudem horkého vzduchu (metoda známá jako meltblown). Je schopna produkovat nanovlákná o průměru cca 1000 – 2000 nm. Tavená a zformovaná vlákna se strhávají proudem vzduchu, chladí se a ukládají se na sběrný buben
- 2) Rozpouštěním polymerového pojiva z mořských řas – ovšem průmyslové využití se ukázalo jako obtížné.
- 3) Drawing – je vytvořena malá kapka z jejíhož kraje je pomocí mikropipety a mikromanipulátoru vytahováno vlákno. Rychlost vytahování vlákna musí být cca  $10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$
- 4) Elektrostatickým zvlákňováním. Jedná se o zvlákňování vodných roztoků a tavenin polymerů v elektrickém poli.[10]

Čtvrtá výše uvedená metoda je velmi atraktivní, neboť pomocí ní lze vyrobit i nanovlákná o průměru  $50 \div 200 \text{ nm}$ . Jde o vysoce ekologický proces, prakticky zde neexistuje odpad.

Právě na tuto metodu elektrostatického zvlákňování se ve svém výzkumu zaměřili na Katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci. Spojili se s libereckou společností Elmarco a vyvinuli nejen postup, díky němuž lze vlákna tisíckrát tenčí než lidský vlas vyrábět v průmyslovém měřítku, ale vyvinuli také unikátní výrobní stroje, které jinde ve světě neexistují. Tyto stroje nesou název Nanospider<sup>TM</sup>. [6]

## 2.3 Elektrostatické zvlákňování

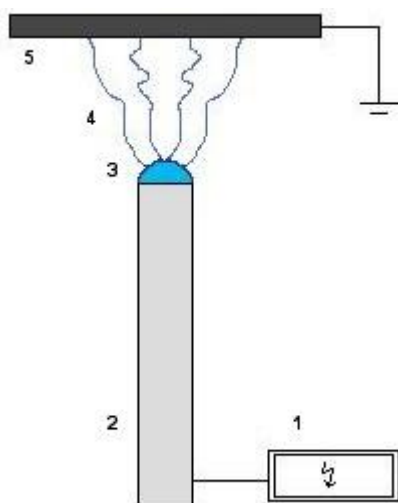
Jedná se o metodu, prostřednictvím které se vyrábí velmi jemná nanovlákná o průměru v rozmezí 200 – 600 nm. Materiál vyrobený touto metodou má takovou strukturu, že dokáže zachytit i velmi jemné částice jako jsou mikroorganismy a částečně i viry. Přidáním dalších látek, třeba stříbra, dokáže zadržené organismy zničit, čímž se zvyšuje účinnost těchto „filtrů“. Materiál se v současné době používá například v ústních rouškách, respirátorech nebo je tedy možné je používat na filtry nebo přidáním aditiv získávají funkčnost [6].

### 2.3.1. Metody elektrostatického zvlákňování

Nanovlákná vytvářená elektrostatickým zvlákňováním mohou vznikat buď z roztoku, nebo z taveniny.

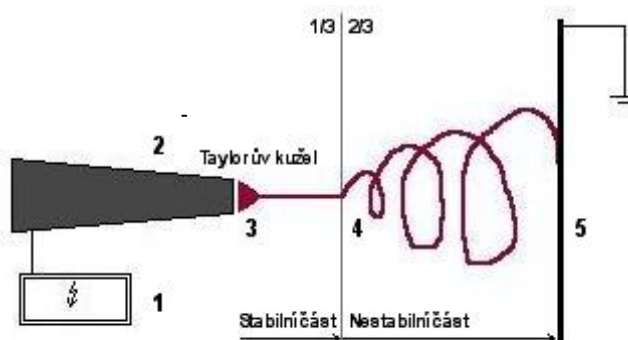
Podle tvaru zařízení na tvorbu vláken se elektrostatické zvlákňování dělí na elektrostatické zvlákňování z:

- tyčky (viz. obr. 4a)
- trysky (viz. obr. 4b)
- jehly
- hladiny
- válečku (viz. obr. 5, obr. 6)



Obr. 4a Schéma elektrostatického zvlákňování z tyčky [14]

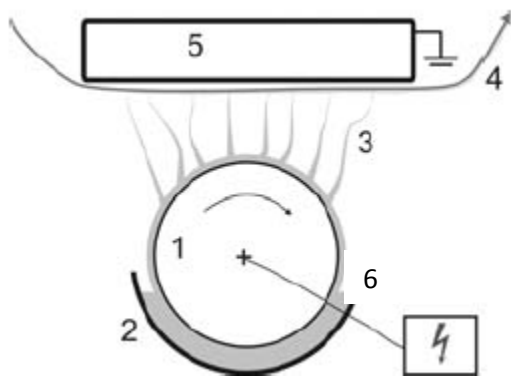
- 1 - Zdroj vysokého napětí,
- 2 - kovová tyčka/tryska,
- 3 - kapka polymerního roztoku/taveniny,
- 4 - vznikající nanovlákná,
- 5 - uzemněný kolektor zachytávající nanovlákná



Obr. 4b Schéma elektrostatického zvlákňování z kapiláry [14]

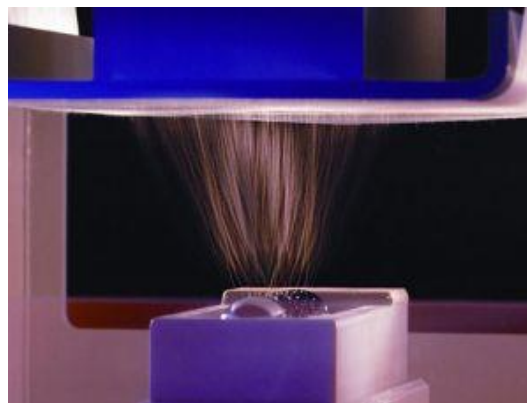
- 1 - Zdroj vysokého napětí,
- 2 - kovová tyčka/tryska,
- 3 - kapka polymerního roztoku/taveniny,
- 4 - vznikající nanovlákná,
- 5 - uzemněný kolektor zachytávající nanovlákná





*Obr. 5 Schéma elektrostatického zvlákňování z válečku*

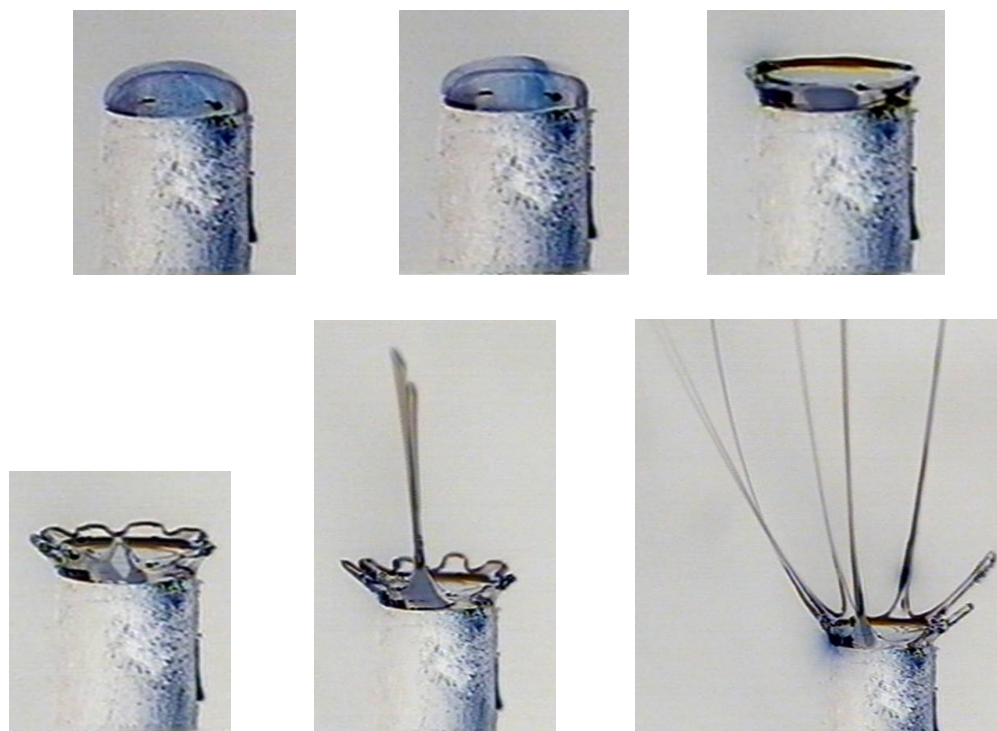
*1 - váleček, 2 - polymerní roztok/tavenina,  
3 - vznikající nanovlákná,  
4 – procházející podklad,  
5 - uzemněný kolektor zachytávající  
nanovlákná  
6 – zdroj vysokého napětí*



*Obr. 6 Zvlákňování z válečku –  
princip technologie Nanospider*

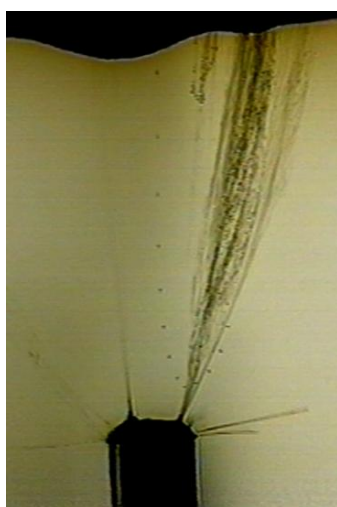
### **2.3.2. Princip elektrostatického zvlákňování**

Ke zvlákňování dochází pomocí elektrického napětí. Na tyčku je nanесena polymerní tavenina. V jiném případě je tento roztok umístěn v trysce nebo jehle či je v nádržce, ve které se otáčí částečně ponořený váleček a tím se po obvodu smáčí. Vyjmenovaná zvlákňovací zařízení (elektrody) jsou pod elektrickým napětím. Ve stanovené vzdálenosti od nich je umístěn uzemněný kolektor. Kolektor a zařízení na tvorbu vláken daného tvaru tak tvoří dvě elektrody, mezi nimiž je vytvořeno elektrické pole s napětím až 50 kV. Při působícím napětí se na povrchu daného zvlákňovacího zařízení (v místě, které je nejbližší ke kolektoru) vytváří kapka (popřípadě kapky). Pokud je napětí dostatečně vysoké, je překonáno povrchové napětí a kapička je protažena. V kritickém bodě kapky vzniká tzv. Taylorův kužel, ze kterého se posléze protáhne malé množství polymerní taveniny směřující ke kolektoru. Vzniká tak nekonečné vlákno. Vlákno se zachycuje a ukládá na nosnou textilií, popř. na jiný nosný materiál, umístěný v blízkosti kolektoru. Dle užitého zařízení na tvorbu vlákna (např. jehla versus váleček) se vytváří jedno či více vláken současně. Postup tvorby vláken je uveden na *obr. 7*.



*Obr.7 Postup tvorby vláken ze zvlákňování elektrody ve tvaru tyčky [15]*

Velkou roli při elektrostatickém zvlákňování má viskozita roztoku. U nízké viskozity dochází k porušení a rozpadu vzniklého vlákna. Tento jev, se nazývá elektrostatické rozprašování (electrospray). Schéma tohoto jevu je uvedeno na *obr. 8*. Při dostatečně vysokém napětí zůstávají vlákna celistvá a zvlákňování probíhá bez problémů. Pro srovnání je příklad správné tvorby vláken uveden na *obr. 9*.



*Obr. 8 Ukázka elektrosprayingu kombinovaného s elektrostatickým zvlákňováním [15]*

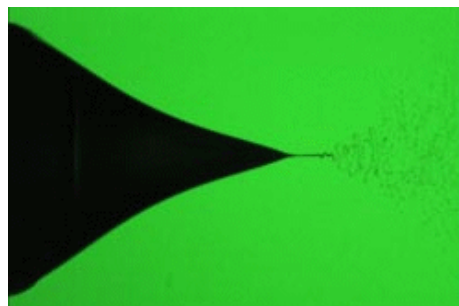


*Obr. 9 Tvorba vláken z tyčky [16]*

Jev zvaný elektrostatické rozprašování byl podrobně prozkoumán a například Marginean ve svém příspěvku [17] popisuje celkem čtyři fáze neboli režimy elektrosprayingu, které nastávají při postupném zvyšování hodnoty napětí až do okamžiku, kdy je jeho hodnota natolik vysoká, že vlákno zůstane celistvé.

První fáze elektrosprayingu ještě není elektrospraying v pravém slova smyslu. Jedná se o režim odkapávání (dripping regime), který nastává při napětí, při němž se na povrchu zvlákňovacího zařízení utvoří kapka. Vznikající kapky následně odkapávají díky kombinovaného účinku gravitačních a elektrických sil. V tomto případě se vlákno ani neutvoří.

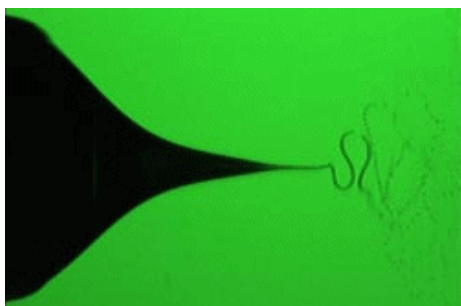
Druhý režim je nazýván jako rozprašovací režim (burs regime) a tento nastává při vyšším napětí než v předchozím případě. Marginean [17] ve svých pokusech užil hodnotu napětí 2750 V. Tento režim je charakteristický občasným nárůstem a kolísáním proudu taveniny následované chvílí klidného proudění (tzv. přímý režim), viz *obr.10*.



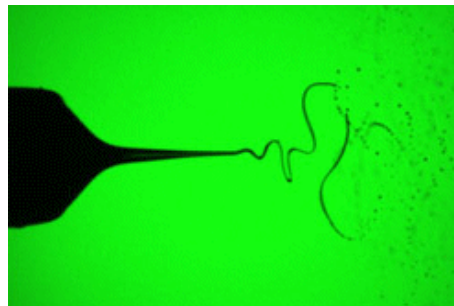
*Obr.10 Rozprašovací režim*

Třetí režim je pulsující režim (pulsating regime), který dle [17] nastal při hodnotě cca 2950V. Tento režim se vyznačuje kontinuálním (spojitým) pulsováním proudu kapaliny (*obr. 11*).

Posledním režimem elektrosprayingu je tzv. nestabilní režim (astable regime). Hodnota napětí se v tomto případě blížila hodnotě, při které docházelo ke klidnému proudění taveniny – přímému režimu (cone-jet). To mělo za následek charakteristické chování proudu taveniny, kdy docházelo k samovolnému a nepravidelnému „přepínání“ mezi pulsujícím a přímým režimem (*obr.12*).



*Obr.11 Pulsující režim [17]*



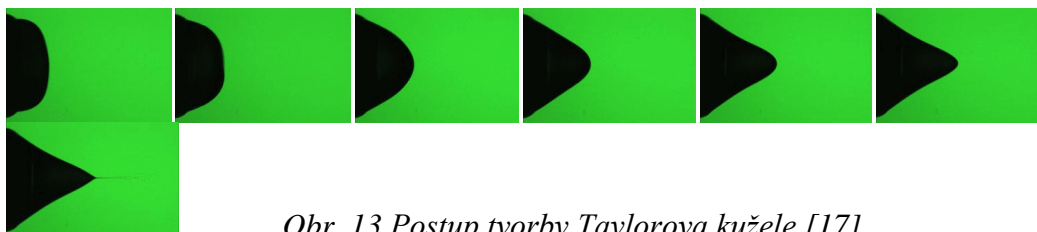
*Obr.12 Nestabilní režim [17]*

Přímý režim (cone-jet), při kterém se bez problému tvořila vlákna, nastal v tomto případě při hodnotě napětí 4050V. [17]

Pokud je cílem technologie vytvořit ultra jemné vlákno, pak elektrospraying je nežádoucím jevem. Ovšem v praxi je tento jev užíván jako užitečná technologie například při nanášení povlaků požadovaných vlastností či se s úspěchem také užívá ve zdravotnictví, aj. Tajemství správného využití spočívá především ve správné volbě napětí v trysce a velikosti průtokové rychlosti.

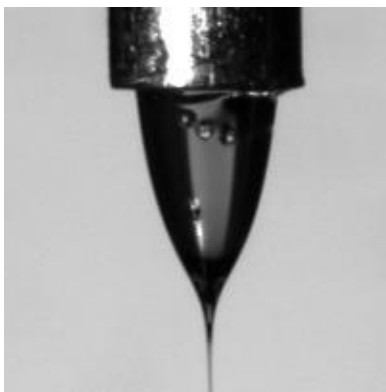
### 2.3.3. Taylorův kužel

Jakmile je určitý objem elektricky vodivé kapaliny vystaven elektrickému poli, tvar kapaliny se začne deformovat působením povrchového napětí. Jak se zvyšuje napětí, tak se účinek elektrického pole stává výraznější a dochází k tvorbě kužele s vypouklými stranami a zaoblenou špičkou. Toto se blíží tvaru kužele s úhlem  $98,6^\circ$ . (Postup tvorby Taylorova kužele je zobrazen na *obr.13*). Při určitém napětí ze zaoblené špičky odchází proud kapaliny směřující k protilehlé elektrodě.



*Obr. 13 Postup tvorby Taylorova kužele [17]*

Tento okamžik je považován za začátek elektrostatického rozprašování. Jak bylo uvedeno výše, v zájmu dosažení stability je nutné vyšší napětí. Při vyšším napětí, jehož velikost závisí na okolních podmínkách a použitém polymeru, již nedochází k elektrostatickému rozprašování a jsou tvořena celistvá vlákna. Detail Taylorova kužele, z něhož vychází vlákno, je zobrazen na *obr. 14*. [14]



*Obr. 14 Detail Taylorova kužele [14]*

#### **2.3.4. Rayleighova nestabilita**

Je-li vlákno pokryto makroskopickým kapalinovým filmem, nastává po krátké chvíli jev zvaný Rayleighova nestabilita. Makroskopický kapalinový film umístěný na vlákně se samovolně začne rozpadat na malé kapkovité útvary, které jsou na vlákně rozmístěny v určitých rozestupech [18]. Ve skutečnosti se jedná o nestabilitu kapalinových válcových sloupců, kterou se na konci 19. století podrobně zabýval fyzik a přírodovědec Lord Rayleigh a popsal ji empirickými vztahy, které se s platností užívají dodnes. [19]

Nestabilitu kapalinových sloupců je možné vidět i v běžném životě. Například jej můžeme pozorovat na pavučinách za ranní rosy (*obr.15*) a nebo si představme vodovodní kohoutek, z něhož vytéká tenký sloupec vody. V určité vzdálenosti od ústí kohoutku se vodní sloupec rozpadá na kapky (*obr.16*). [18]



*Obr.15 Rayleighova nestabilita vodního sloupce patrná na pavučině [19]*

P



*Obr.16 Rozpadající se kapalinový sloupec [18]*

### 2.3.5. Podmínky ovlivňující proces elektrostatického zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování je proces, který nastává za určitých podmínek a je závislý na mnoha faktorech. Z obecného pohledu se podmínky ovlivňující proces elektrostatického zvlákňování dělí na materiálové a procesní.[20]

.

#### ***Materiálové podmínky:***

- typ polymeru
- molekulová hmotnost
- koncentrace
- teplota
- elektrická vodivost roztoku či taveniny
- povrchové napětí
- viskozita a mnoho dalších.

#### ***Procesní podmínky:***

- uspořádání spinneru
- použité napětí
- vzdálenost kolektoru
- okolní teplota
- vlhkost
- elektrické vlastnosti nosného materiálu

Vedle elektrostatického zvlákňování existuje několik jiných výrobních technologií, jako:

- *předení průtahem* - je podobné výrobě standardních syntetických vláken,
- *zvlákňování fázovým dělením* nebo tzv. samosběrem,
- *syntézni šablona* - tímto způsobem se vyrábí také duté vlákno, např.. uhlíkové nanotrubičky CNT, atd.



Všechny tyto metody jsou velmi málo produktivní a mají více kvalitativních nedostatků než elektrostatické zvlákňování. [21]

## **2.4 Využití nanovláken**

V této kapitole jsou podrobněji rozvedeny tři oblasti využití nanovláken, které úzce souvisí se zaměřením studia autorky práce.

### ***Filtrace:***

Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, velikost nanovláken se pohybuje v rozmezí 50 až 200 nm na průměr. Materiál tvořený těmito vlákny má takovou strukturu, že dokáže zachytit i velmi jemné částice, jako jsou mikroorganismy a částečně i viry. Přidáním dalších látek, třeba stříbra, dokáže zadržené organismy zničit, čímž se zvyšuje účinnost těchto filtrů. Materiál se v současné době používá pro filtraci vzduchu, a to například u ústních roušek, respirátorech a filtrech. Dále je s úspěchem využíváno tzv. nanofiltrů či membrán pro odstraňování nebezpečných látek z vody jako je chlór, těžké kovy, dusitany, dusičnany a celou řadu dalších látek, kterými je zamořena naše planeta. [6]

### ***Textilní výroba:***

Většina českých patentů pro elektrostatické zvlákňování byla pro textilní použití. Je ale pravdou, že výroba nanovlákených textilií se rozjíždí velmi pomalu. Pravděpodobnou příčinou mohou být obtíže při manipulaci se sotva viditelnými vlákny.

Nanotechnologie se už v textilním průmyslu běžně používají pro povrchovou úpravu látek. Většinou jde o vodoodpudivé či antibakteriální úpravy používané například u outdoorového oblečení. Přímou nanovlákenou textilií ale zatím v Česku žádný výrobce nepoužil. Nicméně metoda elektrostatického zvlákňování má velký potenciál právě ve výrobě bezešvých oděvů, ochranných a outdoorových oděvů.

Například liberecký výrobce sportovního oblečení Direct Alpine v současné době testuje materiál na bundu s nanovlákenou membránou. Bunda je stejně jako oblečení s běžně používanými membránami nepromokavá zvenku, zevnitř ale propustí dvakrát více odpařeného potu, a to právě díky netkané textilií z nanovláken, která se vyznačuje vysokou četností pórů (pórovitostí) malých rozměrů. [22]

Co se týká ochranných oděvů, jsou na ně kladeny jasné požadavky, jako je vysoký odvod par, zvýšení prodyšnosti a zvýšení toxické chemické odolnosti.

### ***Medicínské využití:***

Nanomedicína může být definována jako sledování, opravování, stavba a kontrola nad člověkem na molekulové úrovni biologickým systémem, který je tvořen z nanosoučástek a nanosystémů. [23]

V současné době hraje nanotechnologie v medicíně významnou roli. Některé oblasti využití nanomateriálů v medicíně jsou uvedeny níže:

- |                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| ▪ Komponenty umělých orgánů | ▪ Tkáňové inženýrství           |
| ▪ Bioimplantáty             | ▪ Podávání léků                 |
| ▪ Ošetření ran              | ▪ Lékařské textilní materiály   |
| ▪ Cílená doprava léčiv      | ▪ Léčebné schopnosti nanorobotů |

## **2.5 Tkáňové inženýrství**

Tkáňové inženýrství je obor, který kombinuje metody inženýrství a přírodních věd ve vývoji biologických náhrad sloužících k obnově, zachování nebo zlepšení funkcí tkání. Zabývá se vývojem uměle vytvořených molekul, buněk, tkání a orgánů k obnově nebo náhradě defektní nebo poraněné části těla. Rozvoj tkáňového inženýrství byl podmíněn nedostupností orgánů vhodných k transplantaci. V dnešní době je již alternativou vytváření tkání či celých orgánů z buněk na vhodném nosiči.[24]

V případě, kdy je tělesná tkáň anebo orgán vážně zraněný, velkou měrou ztracený či dysfunkční, pak je klinicky ošetřen buď rekonstrukcí anebo transplantací orgánu. Není pochyb, že rekonstrukční operace ušetřily a zlepšily nespočetné životy pacientů. I přes tyto úspěchy nedokážou biomedicínské materiály nebo zařízení plně nahradit celý fungující orgán. Jeden z největších problémů při transplantaci orgánů je nedostatek dárců tkání či orgánů. Dodatečná léčba způsobuje různé problémy, jako je virová infekce a možný vývoj rakoviny. Pro potřebu patientských tkání, je uvažováno nad jejich vlastním samoregeneračním potenciálem. To dalo za vznik tkáňovému inženýrství, výzkumu a vývoji biomedikálnímu inženýrství a technologie.[24]

Cílem tkáňového inženýrství je ovládat buňky tak, aby plně nahradily biologické funkce vadných či ztracených tkání a poškozených orgánů. Buňkám je nutno budovat vhodné prostředí, aby navodily zlepšení v daném místě poškození. Scaffold (lešení, nosná konstrukce, podpurná konstrukce pro růst buněk a celých tkání) je jedna z možností jak dopravit potřebné



lékařské materiály do cílového místa.[25] Celý proces přípravy umělé tkáně se skládá z přípravy vhodného nosiče, biopsie tkáně, izolace buněk, kultivace buněk, osídlování nosiče buňkami a implantace štěpu.[24] Pórovitost je vhodná struktura, která usnadňuje buněčnou infiltraci. Materiál scaffoldu musí být biologicky odbouratelný a zdravotně nezávadný. Jestliže má tkáň, kterou je nutno obnovit, vysoký potenciál uzdravení, tak nová tkáň vytvoří scaffold z buněk implantovaných s aktivními buňkami z okolní zdravé tkáně. Pokud je potenciál zlepšení tkáně nízký, například kvůli nízké koncentraci buněk a růstových faktorů zodpovědných za regeneraci tkáně, je třeba dodat požadované prostředky. Jako vhodné se jeví dodání růstových buněk.[25] Volba buněk pro konkrétní aplikaci je klíčovou podmínkou pro úspěšnou léčbu. Primárním zdrojem může být pacientova vlastní zdravá tkáň, u které nehrozí riziko odmítnutí imunitním systémem pacienta. U určitých případů však není možné tyto buňky izolovat v dostatečném množství. V takovém případě je možné použít buňky od nositelů stejného nebo podobného druhu, ale tato varianta je spojena s rizikem odmítnutí implantátu imunitním systémem.[24]

Buňky jsou používány samostatně nebo se scaffoldem, aby navodily zlepšení tkáně. Avšak přímé podávání růstových faktorů se často jeví jako neúčinné, jelikož rychle ztrácí funkčnost, popřípadě jsou rozptýleny od místa potřebného vyléčit. Proto je potřeba efektivně vyřešit postupné uvolňování a dávkování. A tento problém je možné vyřešit zvolením vhodného přepravce. Buňky nebo léčivo, by bylo chráněno před předčasným uvolněním a působením. Nosný materiál prodlouží zadržení aktivní látky v organismu do doby, než je nutné ji uvolnit.[25]

### **2.5.1. Materiály schopné rozkladu pro tkáňové inženýrství**

Pro tkáňové inženýrství se jeví jako nejvhodnější použití biologicky rozložitelných materiálů. „Biologická rozložitelnost“ je definována jako schopnost materiálu degradovat a zmizet z živého organismu. Pro lékařské a farmaceutické aplikace bylo zkoumáno mnoho materiálů.[25] Používají se materiály přírodní, syntetické nebo jejich kombinace. Přírodní materiály mají dobrou biokompatibilitu, jsou biodegradabilní a mají přirozená vazebná místa pro buňky. Problémem je neopakovatelná reprodukovatelnost jejich vlastností. Syntetické materiály naopak mají přesně definované vlastnosti a složení, které můžeme ovlivňovat.

Nosiče mívají různou podobu, jedná se o gely, hydrogely, pěny, houby, tkané i netkané textilie a nanovláknenné nosiče. Nosič musí vykazovat plnou řadu požadavků. Požadavky biologické, strukturní či technické.[24]

### 2.5.2. Proces tkáňového inženýrství

Tkáňové inženýrství zahrnuje dva přístupy výstavby tkání a to: *in vitro* – z latiny - ve skle, v laboratoři, mimo tělo a *in vivo* – z latiny - v životě, v živém organismu.

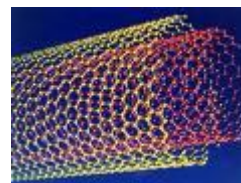
Celý proces se skládá z několika částí. Nejprve je nutné odebrat z těla pacienta štěp vlastních buněk. Dále dochází ke kultivaci buněk *in vitro* a k jejich růstu za pomoci růstových faktorů. Současně je nutné vytvořit scaffold požadovaných vlastností. Po dosažení potřebného množství buněk je třeba přenést je na vytvořený scaffold. Po určité době kultivace buněk ve scaffoldu je možné implantovat materiál přímo na postižené místo pacienta.[24]

Obvykle se předpokládá, že většina biologických látek nezbytných pro regeneraci je automaticky dodávána v těle hostitele. Pokud je zdravá tkáň v těle k dispozici, není žádný scaffold nutný. Nicméně pro regeneraci velkého poranění je třeba použití buněk, scaffoldu a růstového faktoru.[25]

Pro medicínské využití, konkrétně pro tkáňové inženýrství se dobře jeví nanovlákná typu jádro-plášť. Díky struktuře jádro-plášť je možné vnést do těla potřebné látky, které organismus vstřebá a využije pro případné hojení. [14]

### 2.5.3. Vlákná jádro-plášť

Nanovlákná vytvářená elektrostatickým zvlákňováním musí mít různé funkční atributy. Tyto funkce jsou stanoveny jejich složitými chemickými sloučeninami nebo sofistikovanou vnitřní stavbou. Mnoho funkčních kompozitních nanovláken bylo vyrobeno přímo elektrostatickým zvlákňováním polymerních směsí nebo roztoků polymerů s dalšími chemickými látkami. Model vlákná typu Core-shell je uveden na obr. 17. [3]



Obr.17 Model vlákná Core-shell [3]

### ***Koaxiální elektrostatické zvlákňování***

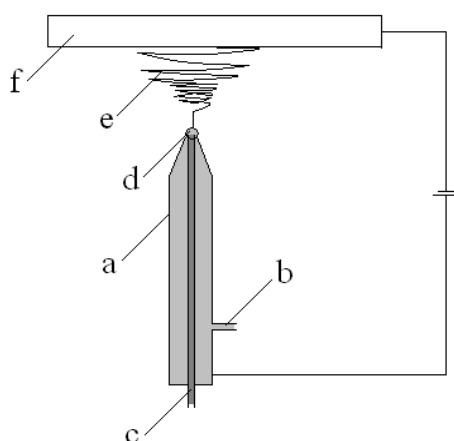
Na rozdíl od použití směsí je koaxiální elektrostatické zvlákňování jedinečná metoda k výrobě funkčních kompozitních nanovláken s téměř dokonale organizovanou jádro-plášť

strukturou. Plášť z nanovláken je nejčastěji polymerní materiál, přičemž jádro se může skládat z jiného polymeru, zapouzdřených hmot včetně kapalin.[26] Známá jsou také dutá vlákna. Z technologického hlediska, vlákno plášť musí pocházet z elektrostaticky zvláknitelné tekutiny, zatímco vlákno jádro nemusí být elektrostaticky zvláknitelné. Jádro-plášť vlákna se podobají pavoučímu hedvábí, což představuje známý příklad směsi s funkčními jádro-plášť vlákny, která mají kombinace mechanických vlastností a nejsou vidět u žádného jiného vlákna.

Stejně jako klasické elektrostatické zvlákňování, tak i koaxiální zvlákňování nastane, když elektrické síly na povrchu polymerních roztoků překonají povrchové napětí a působením elektrického napětí jsou vlákna vypuzena. Vzhledem k ohybové nestabilitě se polymer protáhne ve formě nekonečných ultratenkých vláken. Nezbytným předpokladem je, že jádro-plášť struktura musí být zachována. Vzhledem k tomu, že koaxiální elektrostatické zvlákňování je v novodobé historii ne déle než 4-5 let, není tato oblast ještě tolik prozkoumána.

#### ***Zvlákňovací zařízení (spinner) pro výrobu vláken typu jádro- plášť***

Pro výrobu vláken jádro-plášť bylo vytvořeno zvláštní kompozitní elektrostatické zařízení. Schéma tohoto zařízení je uvedeno na obr. 18. Zařízení se skládá ze dvou komor. Jejich výstupní části mohou být odpovídajícím způsobem upravovány nebo regulovány. Do komory (a) je zavedena látka, která tvoří jádro vlákna. Do komory (b) je zavedena látka tvořící plášť vlákna viz obr. 20.



*Obr.20 Schéma elektrostatického zvlákňování dvoukomorové trysky [4]*

- a) Komora materiálu pláště vlákna*
- b) Přívod materiálu pláště vlákna*
- c) Komora a přívod materiálu jádra vlákna*
- d) Taylorův kužel*
- e) Vytvořená nanovlákna*
- f) Uzemněný nosný kolektor*

Je prokázáno, že nezvláknitelná látka umístěná v jádře může být pomocí zvláknitelné látky vytažena do tenkých vláken, kdy zvláknitelná látka tvoří plášť kolem nezvláknitelné látky. Tato technika může být využita na zapouzdření bakterií, DNA, enzymů a různých léčiv. Je také možné připravovat biologicky rozložitelná nanovláknna pro řízené uvolňování léčiv.

[27]

### **3. PRŮZKUM TRHU**

V rámci dané práce byl proveden průzkum trhu, který se zaměřil z větší části na české firmy zabývající se výrobou nanovláken a dále pak výrobou netkaných textilií, respektive produktů z nich vyrobených.

Mezi největší a nejznámější české výrobce nanovláken se v současné době řadí firmy Nanopharma, Elmarco s.r.o.

#### **3.1. Nanopharma**

Společnost Nanopharma, a.s. již několik let spolupracuje s předními vědecko-výzkumnými pracovišti univerzit a ústavů Akademie věd ČR, a to zejména v oblasti výzkumu a vývoje nanovláken vhodných pro testování jejich použitelnosti v biomedicině.

V oblasti vědy a výzkumu společnost Nanopharma blízce spolupracuje s Technickou univerzitou v Liberci (Fakulta netkaných textilií), dále pak s 2. lékařskou fakultou UK a Ústavem experimentální medicíny AV ČR.

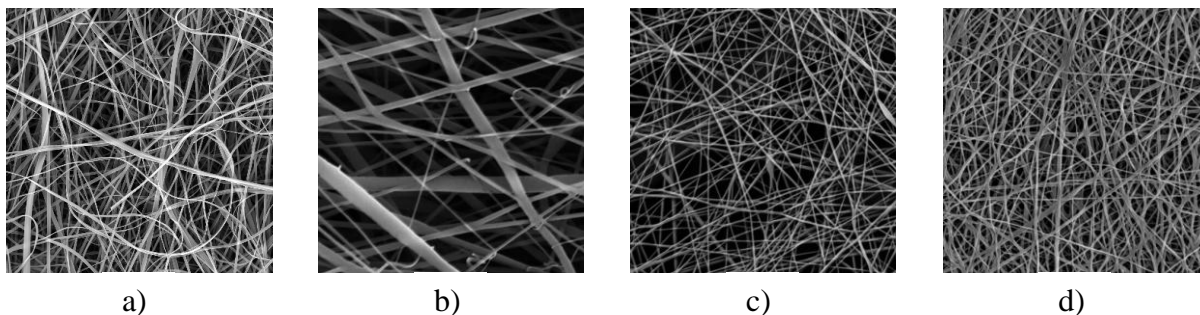
Společnost Nanopharma se zabývá zejména:

- Přípravou nanovláken z polymerních materiálů, včetně biodegradabilních
- Zakázkovou přípravou kompozitních nosičů pro tkáňové inženýrství
- Zakázkovou tvorbou a přípravou inteligentních nosičů pro řízení dávkových látek
- Přípravou inteligentních krycích a chirurgických sítí
- Výrobou prostředků pro somatickou terapii
- Vývojem metodik zvlákňování materiálů

Používané materiály:

- Nanovlákná z PCL (polykaprolakton)
- Nanovlákná z PLGA (poly(lactic-co-glycolic acid))
- Nanovlákná z PVA (Polyvinylalkohol)
- Nanovlákná Chitosan/PEO [28]

- Výše uvedené materiály se užívají pro výrobu nanovláknenných nosičů metodou elektrostatického zvlákňování (*obr.19*).
- Jejich užití je především v tkáňovém inženýrství, například nosič z nanovláken z PCL je vhodný pro osídlení mezenchymálními buňkami a chondrocyty [28].



*Obr. 19 Snímky nanovláknenných nosičů pořízených elektronovým mikroskopem [28]*  
 - nanovláknenný nosič z: a) PCL , b) PLGA , c) PVA , d) Chitosan/PEO

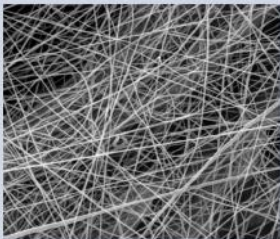
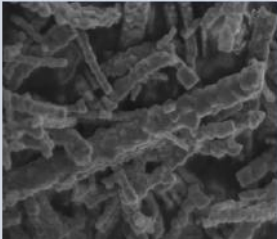
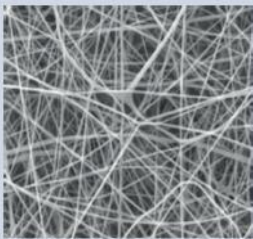
### 3.2. Elmarco s.r.o

Liberecká společnost Elmarco se začala nanotechnologiemi zabývat v roce 2004. Ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci vyvinula nejen postup, díky němuž lze vlákna tisíckrát tenčí než lidský vlas vyrábět v průmyslovém měřítku, ale také unikátní výrobní stroje, které jinde ve světě neexistují. [6] Tuto technologii, stejně tak i zařízení na výrobu vláken, nazvali **Nanospider<sup>TM</sup>**. Nanospider<sup>TM</sup> je unikátní patentovaná technologie zvlákňování z volné hladiny roztoku polymeru v silném elektrostatickém poli bez použití trysek. Výroba spočívá ve zvlákňování polymerů do vláken o průměru desítek až stovek nanometrů. Díky prudkému rozvoji Elmarco nyní určuje světové trendy v oblasti nanovláken a spolupracuje s nejprestižnějšími světovými univerzitami. [11]

#### *Vyráběné materiály*

Od roku 2006 vyrábí také různé nanovláknenné materiály. Jedním z nich je **Nanospider AntimicrobeWeb<sup>TM</sup>**, jenž slouží k odstraňování fyzikálních nebo biologických nečistot z vdechovaného nebo vydechovaného vzduchu. Jeho vlastnosti jej předurčují k použití v medicíně, například jako účinné obličejové masky proti ptačí chřipce. AntimicrobeWeb byl testován v americké Nelson Laboratories v Salt Lake City, kde bylo zjištěno, že efektivita zachytu virů je větší než 99,9 %, stejné parametry má efektivita zachytu bakterií. Dalším materiálem, který firma vyrábí je materiál **Nanospider AcousticWeb<sup>TM</sup>**, což je revoluční zvukoabsorbční materiál s unikátní schopností pohlcovat zvuk o široké řadě

frekvencí. [11] Přehled dalších materiálů vyrobitelných metodou Nanospider™ je uveden na *obr.20*.

Organické polymery	Anorganické materiály	Biopolymery
PA6, PA 6/12 <b>Polyamid</b> PUR (Polyuretan) PES (Polyétersulfon) PVA (Polyvinylalkohol) PAN, PEO, PS PVP, PVP-I	$\text{TiO}_2$ $\text{SiO}_2$ $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{ZnO}$ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ $\text{ZrO}_2$	<b>Želatina</b> Chitosan <b>Kolagen</b> <b>Celulóza</b>
		

*Obr. 20 Materiály vyrobitelné metodou Nanospider™ [29]*

### **Zařízení Nanospider™**

Toto zařízení bylo sestrojeno na základě unikátní technologie vyvinuté na textilní fakultě Technické univerzity v Liberci. Pracuje s výkonem 1-5 g vláken za minutu a je tak přizpůsoben k výrobě v průmyslovém měřítku. Zařízení Nanospider pracuje na principu elektrostatického zvlákňování, viz *obr. 21*. Základním prvkem stroje jsou dvě elektrody, mezi nimiž existuje elektrostatické pole. Spodní elektroda, tzv. zvlákňovací zřízení, má tvar válce, který je ponořen do roztoku polymeru. Válec se otáčí a vynáší tenkou vrstvu roztoku do elektrostatického pole, které z roztoku vytáhne dlouhá vlákna až ke druhé elektrodě - kolektoru. Zde vlákna narazí na podkladovou textilií, na které jsou vynášena ven ze stroje. Je to tedy velice jednoduchý princip – za všechno mohou elektrostatické síly, které z polymeru vyděloují vlákno na podklad. Klíčové jsou vlastnosti polymerů, řada parametrů jako jejich vodivost nebo viskozita musí být nastavena tak, aby proces výroby nanovláken fungoval. [2] Zařízení Nanospider™ je zobrazeno na *obr. 22*.





Obr.21 Princip technologie Nanospider<sup>TM</sup> [6]



Obr.22 Zařízení Nanospider<sup>TM</sup> [6]

### 3.3. PEGAS NONWOVENS s.r.o.

Společnost PEGAS NONWOVENS je jedním z předních světových výrobců netkané textilie typu spunlace na bázi polypropylenu a polyethylenu.

Firma pro výrobu využívá především dvě technologie, a to **Spunbond** a **Meltblown**.

#### *Technologie spunbond (S)*

Podstata výroby netkané textilie technologií spunbond spočívá v přímém zvlákňování polymerních granulátů na nekonečná vlákna (filamenty), která následně vytváří plošnou netkanou textilií. Odpadá tak pro ostatní textilní útvary charakteristická prvotní výroba vláken a jejich konverze na plošný útvar až v dalším kroku. K výrobě tohoto typu netkaných textilií se používá polypropylen (PP) - mono vlákna, nebo kombinace polypropylenu a polyethylenu (PP/PE) - bikomponentní vlákna.

Základní vlastnosti těchto textilií:

- rozsah plošných hmotností: mono 10 - 100 g/m<sup>2</sup>, biko 12 - 80 g/m<sup>2</sup>
- rovnoměrné rozložení vláken v plošné textilií, určující charakteristické hodnoty vlastností, které jsou v podélném a příčném směru v poměru cca 2:1
- vysoká konečná pevnost textilního útvaru zapříčiněná vysokou pevností nekonečných vláken (filamentů)
- charakteristická jemnost jednotlivých filamentů může být v rozmezí 0,9 - 3,5 Tden



### ***Technologie meltblown (M)***

Netkané textilie typu meltblown jsou vyrobeny jednou z nejmodernějších technologií na světě založené na patentu firmy Exxon. Výchozí surovinou je polypropylen.

Textilii je možno vyrobit:

- bílou nebo barevnou
- hydrofobní nebo hydrofilní
- kalandrovanou (tepelně pojenou) či nekalandrovanou
- lze ji opatřit dlouhodobě stabilním elektrostatickým nábojem

Specifické vlastnosti těchto textilií, které spočívají především ve velmi jemných vláknech, variabilní plošné hmotnosti a vysokém měrném povrchu, zajišťují vynikající filtrační, tepelně-izolační a sorpční vlastnosti. Vlákná jsou nedefinované délky, náhodně orientovaná, jejich průměr kolísá po délce. Pro textilii je také charakteristická nižší pevnost v tahu a nižší odolnost proti oděru.

Textilie vyrobené technologií meltblown jsou vhodné jako filtrační materiály, průmyslové sorbenty pro zachycování ropných látek, olejů, vodných roztoků apod.

### ***Technologie SMS (spunbond/meltblown/spunbond)***

Kombinací textilií typu spunbond (S) a typu meltblown (M) získáme textilie typu SMS (struktura je tvořena dvěma vrstvami spunbond, mezi nimiž je meltblow) nebo typu SSMMS (struktura je tvořena třemi vrstvami spunbond, mezi nimiž jsou dvě vrstvy meltblown).

Výsledná kompozitní textilie má výborné fyzikální vlastnosti (pevnost, pružnost, oděr, druhotné trhání, pevnost v protržení atd.) a výborné bariérové vlastnosti bránící průniku velmi drobných částic a mikroorganismů a agresivních tekutin.

Kompozitní materiál SMS má velmi dobré hydrofobní vlastnosti (vysoký vodní sloupec) a je vhodný pro použití:

- postranní bariérové pásy dětských plenek
- ochranné pracovní oděvy
- v konstrukci obličejových masek

- filtrační a separační textilie



Obr. 23 Kompozitní materiál SMS [30]

### **Produkty**

Společnost PEGAS NONWOVENS s.r.o., nabízí širokou škálu druhů netkané textilie. Jedná se především o tyto textilie:

*Pegatex<sup>®</sup> S*; *Pegatex<sup>®</sup> SM*; *Pegatex<sup>®</sup> SMS*; *Pegatex<sup>®</sup> BICO*; *Pegatex<sup>®</sup> S BICO*; *Pegatex<sup>®</sup> MICRO*; *PEGAS-AGRO<sup>®</sup>*.

### ***Pegatex<sup>®</sup> S***

*Pegatex<sup>®</sup> S* - (spunbond) je netkaná textilie vyrobená technologií spunbond (S) z polypropylenu. Dodává se v různých barevných odstínech. Základní vlastností tohoto typu netkané textilie jsou bariérové vlastnosti, kterých se využívá pro výrobu produktů jednorázového užití. Tento typ netkané textilie se uplatňuje v široké řadě aplikací od výroby hygienických produktů (dětské pleny, výrobky dámské hygieny, incontinentní pleny a vložky) přes zemědělství až po stavebnictví či automobilový průmysl.

### ***Pegatex<sup>®</sup> SMS***

*Pegatex<sup>®</sup> SMS* - (spunbond/meltblown/spunbond) je netkaná textilie vyrobená kombinací technologií spunbond (S) a meltblown (M) z polypropylenu. Základní vlastností tohoto typu netkané textilie jsou bariérové vlastnosti, kterých se využívá pro zabránění průniku tekutin či pro separaci velmi jemných pevných částic. Tento typ netkané textilie se uplatňuje v široké řadě aplikací od výroby hygienických produktů (dětské plenky, výrobky dámské hygieny, incontinentní pleny a vložky) přes zdravotnictví, ochranné oděvy až po

stavebnictví či filtraci. V některých finálních výrobcích, například chirurgické roušky ve zdravotnictví, se používá varianta **SM** (spunbond/meltblown). Pak se jedná o textilií

### ***Pegatex*<sup>®</sup> SM.**

Netkaná textilie používaná pro výrobky filtrace je založena převážně na textilií *Pegatex*<sup>®</sup> SMS, kde velmi jemná (mikro-denierová) vlákna propůjčují kompozitní textilií SMS výborné filtrační vlastnosti. Výroba textilie typu *Pegatex*<sup>®</sup> SMS umožňuje variabilní nastavení plošné hmotnosti jednotlivých vrstev a variabilní velikost pórů - určující filtrační parametry a propustnost. Výborná plošná rovnoměrnost je zárukou kvalitních mechanických vlastností (pevnost, pružnost, odolnost v protržení a v dalším trhání).

Netkaná textilie *Pegatex*<sup>®</sup> S, *Pegatex*<sup>®</sup> SM, *Pegatex*<sup>®</sup> SMS, jakožto textilní polotovar pro výrobu jednorázových ochranných oděvů splňuje a překračuje technické požadavky na vysoký standard ochrany v rizikových pracovních prostředích, pro které je speciálně vyvinuta a určena.

Vyniká velmi vysokými bariérovými vlastnostmi, chrání osoby před průnikem agresivních tekutin, brání průniku prachových částic a mikroorganismů. Pro tyto specifické vlastnosti se tyto textilní polotovary používají pro výrobu:

#### **zdravotnických ochranných oděvů**

- pokrývky hlavy
- obličejové masky (S, SM, SMS)
- chirurgické pláště a zástěry

#### **ochranných oděvů pro průmysl**

- ochranné kombinézy a roušky
- chemické obleky
- návleky na obuv



*Obr. 24 Příklady využití textilií firmy PEGAS NONWOVENS a.s. ve zdravotnictví a výrobě ochranných oděvů*

### ***Pegatex® BICO***

*Pegatex® Bico* - C/S (Core/Sheath, jádro/plášť) je netkaná textilie typu S (spunbond) a SMS (spunbond/meltblown/spunbond) tvořená vícekomponentními syntetickými vlákny.

Vlákna se skládají většinou ze dvou polymerních matic, kdy každá ze složek propůjčuje vláknu charakteristické vlastnosti. Cílem je využití měkčí polymerní matrice pláště vlákna ke zlepšení užitných vlastností, především omaku a měkkosti. Plášť vlákna může být složen z matrice s nižší teplotou tání. Polymer s nižší teplotou tání a měknutím v plášti může dále působit jako pojivá složka pro snadnější pojení vláken s možnou aktivací horkovzdušným pojením. Tímto typem pojení lze přizpůsobit mechanické vlastnosti "na míru" dle požadavků individuálního zákazníka.



*Obr.25 Zobrazení struktury textilie Pegatex® BICO [30]*

Textilie *Pegatex® BICO* je výrazně měkčí, velmi příjemná na omak a při stejné plošné hmotnosti má objemnější a nadýchanější charakter. Využívá se především pro výrobu hygienických potřeb, vyznačuje se velmi specifickými vlastnostmi:

- měkkostí a velmi příjemným omakem
- výbornými, komfortními vlastnostmi při kontaktu s nejcitlivějšími částmi lidské pokožky
- vyšší elasticitou
- novou kvalitou pro hygienické aplikace (dětské plenky, dámská hygiena či inkontinentní produkty)
- vyšší možnosti při pojení (polyethylen) s jinými materiály pro kompozitní textilie v automobilovém průmyslu či ve stavebnictví.

### ***Pegatex*<sup>®</sup> S BICO**

*Pegatex*<sup>®</sup> S BICO (bikomponentní spunbond) se vyrábí technologií Reicofil<sup>®</sup>3 na zařízeních vytvářejících tři vrstvy bikomponentního spunbondu - SSS (počet písmen S označuje počet jednotlivých vrstev spunbondu, tvořících netkanou textilií). Užití a specifické vlastnosti jsou shodné s textilií *Pegatex*<sup>®</sup> BICO.

### ***Pegatex*<sup>®</sup> MB Meltblown**

*Pegatex*<sup>®</sup> MB Meltblown je netkaná textilie vyrobená technologií meltblown. Vlastnosti textilie jsou spojeny s malým průměrem vláken (1-5 μm) a jejich charakteristickým pojením a lze je částečně ovlivňovat nastavením zvlákňovacího procesu. Textilie MB lze kombinovat s jinými plošnými materiály, nejčastěji s textilií typu spunbond či laminací s různými druhy fólií.

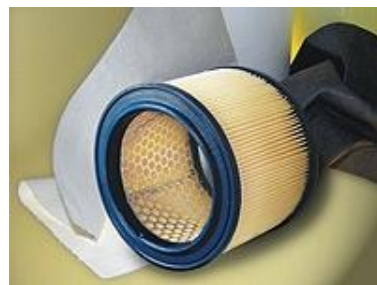
Tento materiál je určen pro použití jako průmyslové utěrky a sorpční materiály, které lze využít jako sorbenty olejů a ropných produktů, sorbenty vodných roztoků a výrobky z oblasti filtrace.

Hlavní přednosti sorpčních prostředků (utěrky a sorbenty):

- vysoké sorpční vlastnosti (zachytí až 15násobek vlastní hmotnosti)
- nemění chemickou podstatu zachycených kapalin
- neuvolní zachycenou kapalinu, což je dáno pevnou mechanickou vazbou kapalin
- lze je použít opakovaně po vymačkání či vyždímání
- jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, plísním a mikroorganismům
- snadná úprava potřebného tvaru a velikosti
- možnost likvidace spalováním (dle druhu zachycené kapaliny).



*Obr. 26 Užití textilií firmy PEGAS NONWOVENS s.r.o pro výrobu průmyslových utěrek [30]*



*Obr. 27 Užití textilií firmy PEGAS NONWOVENS s.r.o pro výrobky z oblasti filtrace [30]*

### **Pegatex® Micro**

*Pegatex® Micro* je netkaná textilie typu spunbond vyrobená ze speciálního (metalocenního) polypropylenu a mezi její základní charakteristiky patří velmi jemná vlákna, lepší mechanické vlastnosti, lepší textilní charakter a výborná rovnoměrnost. Příznivý dojem můžeme získat již při hodnocení omaku. Textilie z jemných vláken má výrazně měkčí, jemnější omak. Vnitřní struktura jemných vláken má výrazně orientovanější charakter, což přináší zvýšení pevnosti v tahu. Tyto materiály nacházejí nejširší uplatnění v hygienických aplikacích.

Netkané textilie se uplatňují i v zemědělství. Trend zvyšování kvality produkce a produktivity v zelinářství a rostlinné výrobě vyžaduje nové přístupy a metody. V posledních letech se hlavně v zelinářství a zahradnictví stále více uplatňuje netkaná polypropylenová textilie. Společnost PEGAS NONWOVENS s.r.o. pro tento segment nabízí netkanou textilií pod obchodním názvem **PEGAS-AGRO®**.

Kontinuálním vývojem se nám podařilo vylepšit užité vlastnosti materiálů z pohledu rovnoměrnosti a zvýšené tažnosti. **PEGAS-AGRO®** patří z pohledu užitných vlastností pro ochranu rostlin mezi nej kvalitnější materiály na trhu. [30]



*Obr. 28 Netkaná textilie PEGAS-AGRO® [30]*

### 3.4. Kertak Nanotechnology, s.r.o.

Kertak Nanotechnology s.r.o. je česká společnost, která se v současné době intenzivně připravuje na spuštění první a unikátní technologie pro průmyslovou výrobu anorganických nanovláken “Nanospider<sup>TM</sup>”. Tato technologie vyvinutá společností Elmarco umožní společnosti Kertak Nanotechnology získat pozici světového leadra v produkci anorganických nanovláken. Společnost ve spolupráci s firmou Pardam s.r.o. spolupracují s mnoha akademickými a průmyslovými institucemi, stejně tak jako s celosvětovými korporacemi, aby přinesly nové a inovativní aplikace pro anorganická (keramická) nanovlákná. Anorganická nanovlákná jsou aplikována v mnoha prototypch špičkových výrobků budoucnosti na poli kosmetiky, palivových článků, baterií, katalyzátorů či senzorů atd.

Kertak Nanotechnology s.r.o. se v současné době podílí na testování prototypu výrobní linky společnosti Elmarco a připravuje se na zahájení průmyslové výroby v roce 2011, kdy bude dokončena první výrobní průmyslová linka na výrobu anorganických nanovláken. Tato unikátní technologie umožní vyrábět nepolymerní nanovlákná na bázi anorganické substance především  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  nebo Pt v průmyslovém měřítku s kapacitou produkce několika tun materiálu p.a. Tato jedinečná technologie umožňuje dosáhnout kontrolovatelných parametrů výrobku, jako jsou:

- složení: možnost produkovat širokou škálu anorganických látek s nanovláknennou strukturou (např.  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , TiN, NiO, Ni, CuO, Cu, atd.), s žádoucími krystalovými strukturami (např.  $\text{ZrO}_2$  jako jednoklonný, tetragonální nebo kubické krystalové struktury)
- čistota a dopování: možnost upravit materiál dopováním, pokud jde o jeho čistotu a dopování různými prvky (např.  $\text{TiO}_2$  může být dopováno s drahými kovy)
- velikost nanovláken: možnost upravit rozměry nanovláknenných produktů (průměr vláken, měrný povrch vláken)



## **Produkty**

### *Anorganická nanovláknna*

Polymerní nanovláknna se vyrábí pomocí elektrostatického procesu (Electrospinning), což je metoda, která umožňuje vyrobit vlákna o průměru v rozmezí od 10 nm do několika stovek nm. Anorganická nanovláknna jsou zajímavou a novou třídou materiálů vyrobených následnou kalcinací polymerních nanovláken vyrobených elektrospinningem. Anorganická nanovláknna jsou složená z anorganických látek s minimálním množstvím organických (polymerních) nečistot a mohou se objevovat v různém složení. Přehled produktů aktuálně připravovaných k průmyslové výrobě je uveden níže.

#### TiO<sub>2</sub> (titanium dioxide)

TiO<sub>2</sub> nanovláknenný materiál má známé materiálové charakteristiky titanových a synergických vlastností nanovláknenné struktury.

#### Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (titaničitan litný)

Titaničitan litný (LTO) je perspektivní materiál pro anody Li-iontových baterií.

#### Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxid hlinitý)

oxid hlinitý má širokou škálu užití, jako je materiálová podpora katalyzátorů, ultra kondenzátor, polovodivý materiál a navíc se jedná o stabilní materiál při vysokých teplotách.

#### SiO<sub>2</sub> (oxid křemičitý)

Používá se v mikro-elektronických aplikacích, kde je jeho schopnost sloužit jako vynikající elektrický izolant s vysokou chemickou stabilitou.

#### ZrO<sub>2</sub> (oxid zirkoničitý)

ZrO<sub>2</sub> je důležitým materiálem v průmyslu a technologii vzhledem ke svým vlastnostem jako jsou vysoký bod tání, nízká tepelná vodivost, vysoká pevnost, vysoká iontová vodivost a specifické optické a elektrické vlastnosti. [31]

## **3.5. Direct Alpine**

Liberecký výrobce sportovního oblečení Direct Alpine vznikl v roce 2005 a specializuje se na outdoorové oblečení. Malá firma zaměstnává jen 14 vlastních pracovníků, šití zadává externím dodavatelům převážně z Česka.

Direct Alpine v současné době testuje materiál na bundu s nanovláknennou membránou. Bunda je stejně jako oblečení s běžně používanými membránami nepromokavá zvenku, zevnitř ale propustí dvakrát více odpařeného potu.



Ochrana proti dešti a vodě je standardem kvalitního membránového oblečení, stále větší roli ale hrají další parametry - především právě prostupnost vodních par, která je důležitá pro pocit komfortu nositele. Nanovláknenná membrána je podstatně účinnější než membrány mikroporézní, protože má mnohem víc pórů, kudy mohou páry procházet. Obě membrány mají sice stejně velké otvory pro transport vodních par, nanovláknenná membrána má ale díky ultratenkým vláknům větší četnost (pórovitost). [22]



*Obr. 29 Znárodnění  
nepromokavosti textilie [22]*

## 4. PATENTY

Oblast nanotechnologie je velmi široká a dá se říci, že i nadále ještě zcela neprobádaná. Stále poskytuje možnost nových objevů. Od chvíle, kdy bylo vyrobeno první nanovláknو vzniklo nepřehledné množství patentů. V této kapitole je uveden přehled vybraných zajímavých patentů, tematicky souvisejících s obsahem literární rešerše předkládané práce.

### *Alkalicko-rezistentní polymerní vlákno jádro-plášť*

Alkalicko-rezistentní polymerní vlákna jádro-plášť se připravují sekvenční polymerací monomerní směsi. Tato vlákna se vyznačují tím, že mají nerozpustné jádro a rozpustný plášť.

Dennis P. Lorah, 18. května 1993 [32]

### *Elektrostaticky vytvořené kompozitní vlákno pro lékařské účely*

Tento patent poskytuje elektrostaticky vytvořené vlákno obsahující jeden nebo více polymerů a jednu nebo více biologicky aktivních látek. U některých provedení elektrostaticky tvořené vlákno obsahuje jednu nebo více biologicky aktivních látek jako film na povrchu dutinky. Dutinky obsahující tento film mohou být použity jako nervové kanálky.

Ahmet Hoke, 3.května 2006 [33]

### *Elektrostatické zvlákňování jemných dutých vláken*

V tomto patentu je zveřejněná metoda elektrostaticky vytvářených nanovláken na principu jádro-plášť jako kompozitní struktury. V procesu je používána první a druhá kapilára. Druhá kapilára je vedena kolem první. Vysoké napětí je aplikováno mezi zvlákňovací zařízení a vodivý nosič. V provedení je první tekutina minerální olej a druhá tekutina je polymerní roztok, který může obsahovat polymer, katalyzátor, rozpouštědla a sol-gel. Vzniklá nanovlákna obsahují olej v jádře a kompozitní plášť. Olej může být odstraněn pro výrobu kompozitních dutých vláken.

Younan Xia, 18. Srpna 2009 [34]

Patent WO-2007029913 (shodný s KR-2007025724) chrání několikavrstvou antiadhézní bariéru zahrnující nanovláknennou, strukturovanou základní vrstvu z hydrofobního, bioodbouratelného a biokompatibilního polymeru a dále hydrofilní vrstvu z polymeru přírodního původu. Patent chrání následující:

- přípravu nanovláknenné základní vrstvy elektrospiningem,
- tvorbu polymerní vrstvy pokrytím základní vrstvy hydrofilním, přírodním polymerem.

Materiál má mít využití jako antiadhezní bariéra pro post-chirurgické rány a postchirurgickou adhezi. Mezi biopolymery je zahrnuta kyselina hyaluronová, dále třeba kolagen, želatina nebo elastin. Jako hydrofobní polymery patent mimo jiné uvádí polypeptidy, polyaminokyseliny, polysacharidy. Biopolymer je síťován řadou chemických nebo fyzikálních postupů. [35]

Patent WO-2006033103 se týká kompozice pro růst kmenových buněk, představující populaci kmenových buněk kultivovaných na biokompatibilní matici ve formě gelu připraveného sesíťováním hyaluronové kyseliny s lamininem. Nanovláken se týká implantát připravený z této struktury a biokompatibilního scaffoldu, který obsahuje blíže neurčená nanovláknena. Implantát je určen pro buněčnou terapii (implantace buněk na místo potřeby). [35]

Patent US-2004234571 aplikuje elektrospining prakticky přímo in situ v pacientovi. Týká se způsobu přímé injekce nanovláknenného substrátu do příslušného místa v těle pacienta, např. na srdce. Metoda je zamýšlena pro použití ve tkáňovém inženýrství např. chrupavek, šlach, nervu, krevního řečiště, pokožky, plic, jater a ledvin, pro kontrolované uvolňování léčiv nebo vyztužování kostí. Předností má být odstranění nebo omezení chirurgických zásahů jinak nutných pro implantaci scaffoldu.

Jedna elektroda je umístěna přímo v těle na žádaném místě nebo v jeho blízkosti. K elektrospiningu (nástřiku do těla) se používá kapalina obsahující kromě polymeru i buňky, růstové faktory, živiny. Mezi polymery tvořícími matici injektovaného roztoku jsou uvedeny i (blíže neurčené) deriváty kyseliny hyaluronové. Zdá se, že v závěru je vyvoláno radikálové síťování matrice. [35]

Patent WO-2005025630 uvádí polymerní nanovlákná pro aplikace v medicínských i jiných (např. filtračních) aplikacích. Za novinku prohlašuje polymerní nanovlákná obsahující biokompatibilní polymerní nanovlákná s průměrem 100–1000 nm ve formě zdravotních pomůcek, prostředků pro šití, systému pro kontrolované dávkování léků, scaffoldu pro tkáňové inženýrství, reparačního nebo regeneračního přípravku, lékařské protetiky nebo kosmetické plet'ové masky. Tvrdí, že vynález prodlužuje odolnost sešívacích materiálu nebo chirurgických sít'ek a nabízí dlouhotrvající mechanickou stabilitu.

Nanovlákná jsou na bázi polyfosfazenů, které mohou být míšeny s biodegradabilními polymery, mezi kterými je uvedena i kyselina hyaluronová nebo kolagen a chitosan. Nanovlákná jsou připravována z roztoku v organickém rozpouštědle. [35]

Patent US-20060204738 prezentuje přípravu kompozici pro krytí (potahování) nejrůznějších zdravotních nástrojů a pomůcek (včetně systému cílené distribuce). Kompozice představuje nanostruktury dispergované v matrici. Nanovlákná dodávají kompozici trvanlivost. Nanostruktury jsou převážně anorganického původu. Některé nanostruktury představují dvouvrstvou potahovací kompozici. Prvá vrstva je tvořena fibrinogenem, druhá biokompatibilním polymerem na fibrinogenu spolu s vhodnou bioaktivní (biostimulační) substancí. Tyto struktury slouží k potahování nanotrubiček (zevnitř i zvenku) nebo nanovláken. [35]

## 5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Náplní předkládané diplomové práce je návrh vhodné metody výroby nosiče pro tkáňové inženýrství. Nosiče jsou v tomto případě vyráběné z vláken typu jádro-plášť. Pro výrobu nanovláken tohoto typu se nyní běžně používá metoda elektrostatického zvlákňování z jehly. Tato metoda je ověřená a funkční, ale díky zvlákňování jen z jednoho bodu (trysky, jehly) je malá produktivita výroby a není možné vyrábět velkoplošnou textilií.

Jak bylo uvedeno v úvodní části práce, vizí je zhotovit zařízení, který umožní vytvořit velkoplošný materiál tvořený vlákny jádro-plášť, z něhož by bylo možné oddělit vždy část požadované velikosti a využít ji jako nosič daného léčiva. Za tímto účelem byla zvolena metoda koaxiálního elektrostatického zvlákňování z volné hladiny, která umožní výrobu textilie větších rozměrů. Pokud by bylo ověřeno, že je tímto způsobem možné vyrábět bikomponentní vlákna požadovaných vlastností, pak by byl splněn požadavek a vize větší kvantitativní výroby těchto nosičů pro tkáňové inženýrství.

Hlavním úkolem je tedy ověřit možnosti výroby Jádro-plášť vláken koaxiálním elektrostatickým zvlákňováním z hladiny.

### 5.1. Experimentální zařízení, vybavenost pracoviště

Experimenty prováděné v rámci vypracování předložené práce byly realizované v laboratoři Katedry netkaných textilií Technické Univerzity v Liberci. Pro uskutečnění a vyhodnocení experimentů byly použity roztoky: 12 hm% Polyvinylalkohol a 5 hm% Polyethylenglykol, stolní olej, zkušební zařízení, sestava na zvlákňování (kolektor, objímka na umístění bazénku s připojením na zdroje, rám), teploměr na měření teploty a vlhkosti vzduchu, nosný materiál pro nanovláknennou vrstvu, optický mikroskop s digitálním výstupem. Fotografické snímky experimentálního zařízení a procesu zvlákňování byly pořízeny digitálním fotoaparátem Nikon D90. Laboratoř a laboratorní zařízení je zobrazeno na *obr.30*.

Pro experimenty provedené v rámci vypracování dané práce bylo použito menší množství vzorků, které odpovídá pouze ověření nebo návrhu metodiky zkoušky. Pro jednoznačný popis daného procesu a definování vlastností materiálu je potřeba užít větší množství zkoušek nutných pro ověření ovlivňujících parametrů daného procesu (teplota,

vlhkost, vzdálenost kolektoru ...). S ohledem na náplň a rozsah diplomové práce, tyto další zkoušky nebylo možné uskutečnit, a to zejména z časových důvodů.



30a) Mikroskop NIKON



30b) Rám na el.zvlákňovací zařízení



30c) Digestor pro el. Zvlákňování



30d) Zdroj vysokého napětí



30e) Objímka pro upevnění bazínku



30f) Očko a bazének

Obr. 30a) b) c) d) e) f) - Laboratoř a laboratorní zařízení pro elektrostatické zvlákňování

## Mikroskop NIKON Eclipse LV 100

Nikon Eclipse mikroskopy jsou známé pro svou schopnost produkovat jasnější, čistší, a vyšší kontrast snímků. Ovládání mikroskopu je zcela snadné a nenáročné. Je také vybaven e vysoko-intenzivním halogenovým zdrojem světla, který poskytuje jasnější obraz, nižší spotřebu energie a méně tepla. [36]



*Obr. 31 Optický mikroskop NIKON Eclipse LV 100*

## 5.2. Podstata experimentální výroby nosiče tvořeného vlákny jádro-plášť

Jak již bylo zmíněno v literární rešerši této práce, nosiče v tkáňovém inženýrství mají více funkcí. V souvislosti s náplní této diplomové práce je nutné vyzdvihnout dvě základní funkce:

- 1) Řízená doprava léčiv přímo na určené místo v lidském těle.
- 2) Implantace uměle vypěstované tkáňové náhrady na postižené místo pacienta.

V prvním případě je léčivá látka (nezvláknitelná) uvnitř vlákna a tvoří tak jeho jádro. Pro experimenty zcela postačuje nahradit léčivou látku jinou látkou, která má, co se týče schopnosti zvláknování, podobné vlastnosti.

V druhém případě je metodou koaxiálního elektrostatického zvláknování zhotoven nosič, na který se v lékařské praxi přenesou zkultivované buňky pacienta. Bikomponentní vlákna těchto nosičů jsou vytvořena z elektrostaticky zvláknitelných látek.

V rámci diplomové práce byly provedeny dvě skupiny experimentů odpovídající výše uvedeným funkcím tkáňových nosičů.

### 5.2.1. První skupina experimentů

Účelem těchto experimentů bylo zvláknit látku, která je sama o sobě elektrostaticky nezvláknitelná. Při procesu tvorby bikomponentních vláken je nutné, aby v každém případě byla látka tvořící plášť elektrostaticky zvláknitelná. Tato podmínka je důležitá, neboť plášť při procesu elektrostatického zvláknování musí nezvláknitelnou látku vytáhnout do svého středu, čímž se vytvoří dvousložkové vlákno.

Pro vytvoření nosiče s požadovanými vlastnostmi využitelnými v lékařské praxi by bylo vhodné použít jako nezlátnitnou látku léčivo. Na katedře Netkaných textilií byla k dispozici v malém množství kyselina hyaluronová v podobě 1% sodného roztoku, která je v praxi používána např. pro snížení opotřebení kontaktních ploch kloubů. Dostupné množství by ovšem nepokrylo počet plánovaných experimentů a nové pořízení této látky by bylo finančně náročné. Pro experimenty související se zadáním diplomové práce byl zvolen stolní olej, který je volně dostupný, levný a splňuje podmínku nezlátnitosti. Není brán jako plnohodnotná náhražka léčiva, ale jako látka, díky které je možno ověřit, zda jde vytvořit vlákno s nezlátnitnou látkou jako jádro.

### ***Příprava polymerního roztoku - plášť***

Polymerní roztok je využit pro zhotovení pláště bikomponentního vlákna. Použitý polymer je Polyvinylalkohol (PVA), tento polymer je ředitelný vodou a netoxický a v našem případě je použit 12 hm% roztok. Tato konzistence se ukázala jako nejvhodnější. Více procentní roztok má příliš vysokou viskozitu<sup>2</sup> pro zvláknování a u méně procentního je riziko, že může docházet k Rayleighově nestabilitě.

Roztok je míchán z 16 hm% PVA a destilované vody. Na základě experimentálních zkušeností se dospělo k závěru, že je roztok nutné řádně promíchat, nejlépe nejdříve na míchačce hrubším způsobem a poté na třepačce. Není vhodné pracovat s čerstvě promíchaným roztokem kvůli vzniklým vzduchovým bublinkám. Nejlepší je nechat roztok alespoň půl dne odstát. Do připraveného polymeru bylo přidáno i potravinářské červené barvivo. Takto připravený polymerní roztok je použit jako plášť a díky barvivu je lépe rozpoznatelné, zda blanka během přípravy a samotného procesu elektrostatického

---

<sup>2</sup> **Viskozita** – je fyzikální veličina, udávající poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny.

Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brždění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.

$$\eta = \tau * \frac{dv}{dx}$$

$\eta$  - viskozita       $dv$  - změna rychlosti      (1)  
 $\tau$  - tečné napětí     $dx$  – vzdálenost



zvlákňování nepraskla. Problém praskání blanky je zapříčiněn i vnitřním obsahem bazénku. Používaný stolní olej je jako každý tuk hydrofobní a díky tomu je problém s udržení celistvosti blanky vytvořené z vodou ředitelného polymeru. V případě pokusů s PEO byl PVA stabilnější.

### ***Polyvinylalkohol (PVA)***

Polyvinylalkohol, je bez chuti a zápachu, průsvitné, bílé nebo krémové barvy zrnitý prášek. Jeho odolnost vůči rozpouštědlům závisí na obsahu nehydrolyzovaného polyvinylacetátu, na střední molekulové hmotnosti a také na teplotě. Čím vyšší je jeho molekulová hmotnost, tím menší je jeho rozpustnost. Polyvinylalkohol se nevyskytuje jako přírodní produkt. Je rozpustný ve vodě, mírně rozpustný v etanolu.[37]

### ***Příprava vnitřního materiálu - jádra***

Jak již bylo zmíněno v úvodní části této kapitoly, byl pro zhotovení jádra bikomponentního vlákna (vnitřní materiál) použit stolní olej. Je to látka složená z více prvků a chemický vzorec není dán. Příprava nebyla nutná, jedná o hotový produkt.

## **5.2.2. Druhá skupina experimentů**

Cílem těchto experimentů bylo zhotovit nanovlákna struktury jádro-plášť, kde jak jádro, tak i plášť jsou vytvořeny z elektrostaticky zvláknitelných látek. A to protože v tomto případě nosič nefunguje jako dávkovač léčiv, ale jako scaffold pro přenesení živých tkání.

### ***Příprava polymerního roztoku – plášť***

Aby bylo umožněno implantované tkáni (dopravené tímto nosičem) uchytit se na poškozeném nebo nevyvinutém místě v těle, je nutné zajistit nosiči delší čas rozkladu. Toho se dosáhne síťováním daného polymerního roztoku. Síťovacím prostředkem pro PVA je glyoxal a jako katalyzátor je použita kyselina fosforečná.

Síťování bylo provedeno tak, že do roztoku 12hm% PVA byla přimíchána síťovací činidla, jejichž množství bylo nutné předem stanovit pomocí následujících vstupních hodnot:

- 3hm% z obsahu sušiny PVA glyoxalu (40hm%)
- 4hm% z obsahu sušiny PVA kyseliny fosforeční (85hm%)
- $\rho_{16\text{hm\%PVA}} = 1,04 \text{ gcm}^{-3}$
- $\rho_{\text{glyoxal}} = 1,265 \text{ gcm}^{-3}$
- $\rho_{\text{kys. fosforečná}} = 1,71 \text{ gcm}^{-3}$

Pro pokusy bylo namícháno vždy 50 ml roztoku 12 hm% PVA.

Pro síťování je nutné získat 3 hm% glyoxalu a 4hm% kyseliny fosforečné z obsahu sušiny PVA.

Pomocí křížového pravidla, bylo pro 12hm% roztok PVA vypočteno množství 37,5g samotného PVA. Do zvoleného množství 50ml roztoku je tedy pro požadovanou koncentraci 12 hm% nutné doplnit 12,5g destilované vody.

#### Výpočet 3hm% glyoxalu z obsahu sušiny PVA

$$37,5 \text{ g z } 16\% \Rightarrow 37,5 * 0,16 = 6 \text{ g PVA}$$

U množství 37,5g šestnáctiprocentního roztoku je obsah sušiny 6g. Sušina vznikne odpařením  $\text{H}_2\text{O}$ .

$$6 \text{ g PVA} \rightarrow 3\text{hm\%} \rightarrow 6 * 0,03 = 0,18 \text{ g} \quad 3\text{hm\% glyoxalu}$$

3hm% z obsahu sušiny činí 0,18g. Pro výpočet potřebného objemu glyoxalu je použit vztah:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

... kde: m – 3% hmotnosti sušiny PVA [g]

V – objem glyoxalu [ $\text{cm}^3$ ] = [ml]

$\rho$  - hustota glyoxalu [ $\text{gcm}^{-3}$ ]

Po dosazení:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,18}{1,265} = 0,14 \text{ ml glyoxalu}$$

Na základě výše uvedeného výpočtu bylo stanoveno, že je potřeba 0,14ml glyoxalu.

#### Výpočet 4hm% kyseliny fosforečné z obsahu sušiny PVA

$$37,5 \text{ g z } 16\% \Rightarrow 37,5 * 0,16 = 6 \text{ g PVA}$$

U množství 37,5g šestnáctiprocentního roztoku je obsah sušiny 6g. Sušina vznikne odpařením  $\text{H}_2\text{O}$ .

6 g PVA -> 4hm% ->  $6 \cdot 0,04 = 0,18 \text{ g}$       4%hm kyseliny fosforečné

4hm% z obsahu sušiny činí 0,18g. Pro výpočet potřebného objemu kyseliny fosforečné je použit vztah ( 4 ).

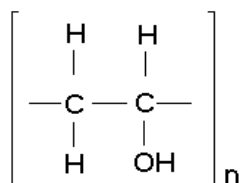
Po dosazení:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,18}{1,71} = 0,14 \text{ ml kyseliny fosforečné}$$

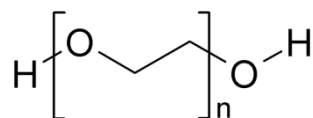
Na základě výše uvedeného výpočtu bylo stanoveno, že je potřeba 0,14ml kyseliny fosforečné.

Pro názornost jsou níže uvedené chemické vazby jednotlivých složek a princip síťování PVA.

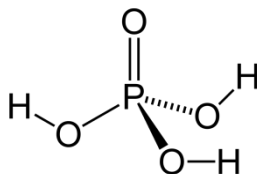
Polyvinylalkohol



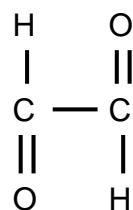
Polyethylenglykol



Kyselina fosforečná

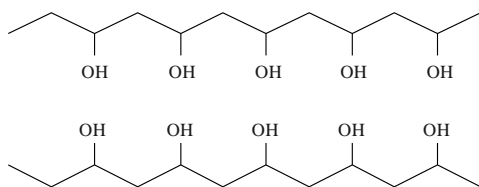


Glyoxal

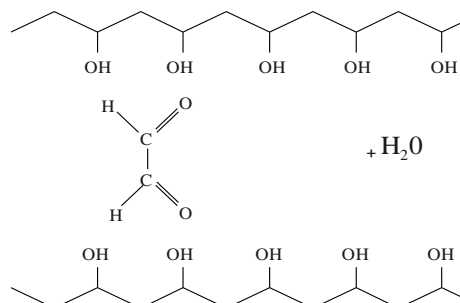


Obr. 32 Princip síťování PVA

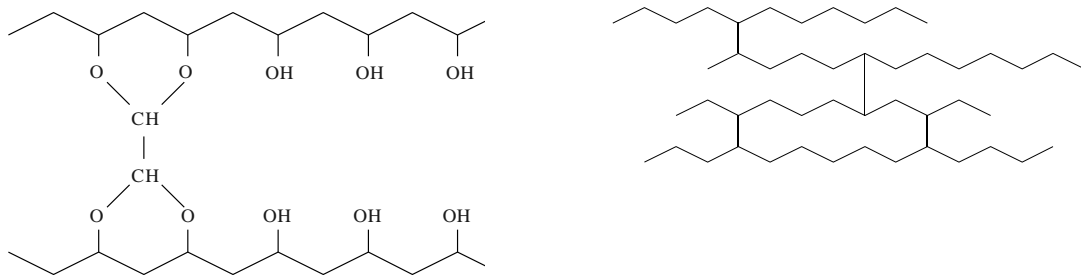
PVA



PVA+ glyoxal



Odštěpení glyoxalu



Vznikne síť, která je nerozpustná

### ***Příprava vnitřního materiálu - jádra***

Pro výrobu tohoto scaffoldu byl jako vnitřní materiál (jádro) použit polymer Polyethylenglykol (PEO), který je stejně jako Polyvinylalkohol (PVA) vodou ředitelný a netoxický. Tento polymer se míchá ze sušiny a nejvhodnější je 5hm% roztok. Z PVA + PEO byly vytvořeny vzorky nosičů, které pro ověření jejich funkčnosti, by bylo vhodné odeslat na biologické testování

### ***Polyethylenglykol (Polyenthylenoxid PEO)***

Chemicky inertní a netoxický polymer tvořený dvou-uhlíkovými jednotkami spojenými etherovými vazbami, rozpustný ve vodě i v organických rozpouštědlech, látka s velkým významem v chemii (emulgátor v potravinářství či kosmetice, bývá obsažen v zubních pastách), a zejm. ve farmacii. Užívá se v přípravě na kolonoskopii (čištění střeva). [37]

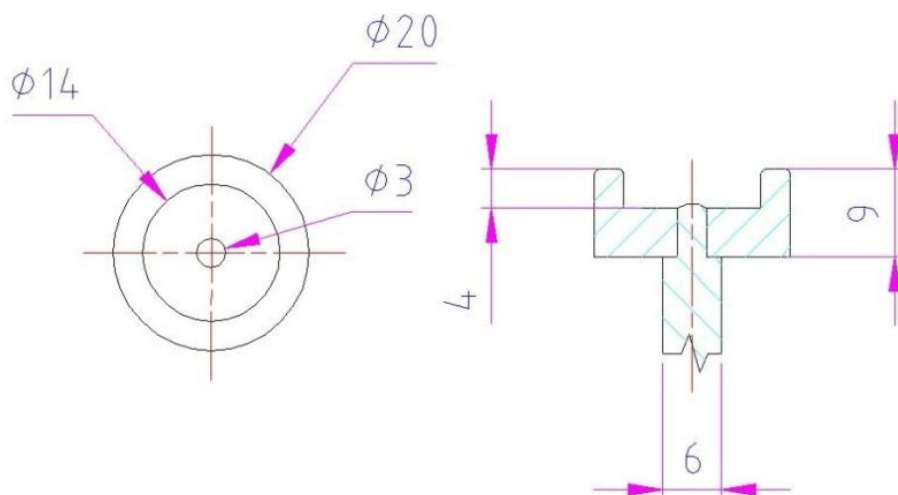
## **5.3. Zařízení pro koaxiální elektrostatické zvlákňování**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.5.3, jednou z možností výroby nanovláken typu Jádro-plášť je výroba pomocí speciálního zvlákňovacího zařízení (spinneru). V tomto případě se Spinner se skládá ze dvou částí, a to vnitřní a vnější komory. Do vnitřní komory je vedena nezvláknitelná látka a do vnější zvláknitelný polymer. Během procesu elektrostatického zvlákňování je vnitřní látka vytažena pomocí polymeru do vlákna a tvoří tak jeho jádro.

U tohoto způsobu výroby se jedná o maloplošné uložení vláken na nosný materiál. Vzhledem k cíli diplomové práce vytvořit velkoplošnou textilií, je tento způsob neefektivní. Byla proto navržena metoda elektrostatického zvlákňování z hladiny. Jako experimentální přípravek byl použit tzv. Bazének a Přeplovací spinner.

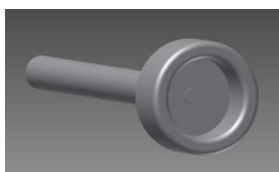
### 5.3.1. Bazének

Pro účely experimentu pouze ověřit funkčnost koaxiálního elektrostatického zvlákňování z hladiny není třeba zařízení velkých rozměrů. Proto byl použit bazének o rozměrech uvedených na *obr 33*.



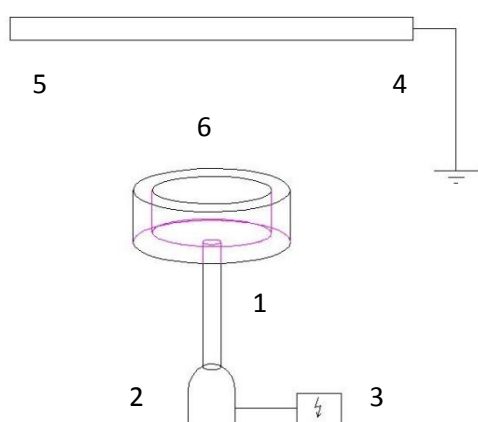
*Obr. 33 Schematický náčrt bazénku*

Bazének je složen ze dvou částí. Nádržka a vodivá tyč. Model tohoto zařízení je znázorněn na *obr. 34*. K bazénku ještě náleží tzv. očko, jehož funkce bude popsána níže.



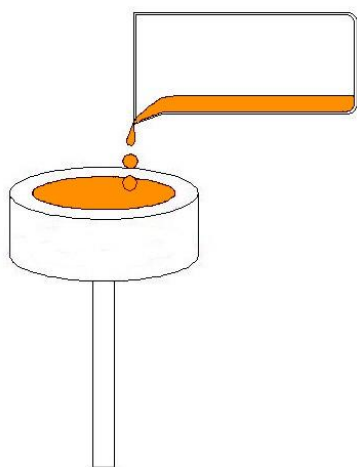
*Obr. 34 Model bazénku*

#### ***Princip koaxiálního elektrostatického zvlákňování bazénku***



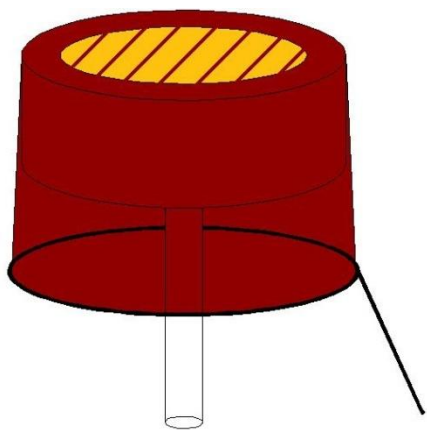
Bazének (1) je umístěný do objímky (2), k níž je přiveden zdroj elektrického napětí s kladným nábojem (3). Nad bazének je ve stanovené vzdálenosti umístěn uzemněný kolektor (4). Dle provedených experimentů se jako nejvhodnější vzdálenost mezi uzemněným kolektorem a horním okrajem bazénku (5) jevila hodnota 10-12 cm. Na kolektor je umístěna nosná textilie (6), na kterou se ukládá vytvořená nanovláknenná vrstva. Viz *obr. 35*

*Obr. 35 Sestava bazénku*



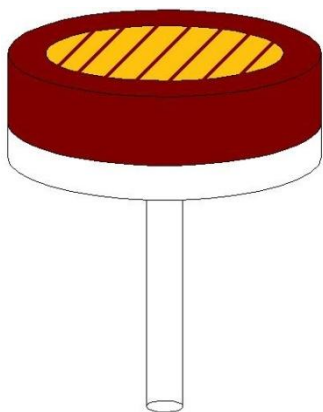
Do bazénku je umístěná nezláknnitelná látka. Při testování bylo vyzkoušeno několik variant objemu vnitřní látky. Jako vyhovující se ukázala varianta, kdy hladina vnitřní látky byla v rovině s horním okrajem bazénku. Při zvlákňování s větším množstvím přesahujícím hranu bazénku docházelo ke stékání látky po vnější stěně bazénku a neefektivnímu a nesprávnému zvlákňování. Vnitřní a vnější látka (blanka – viz. níže) by měly být v přímém kontaktu. Z tohoto důvodu není možné takto testovat látky, které jedna druhé způsobují srážení.

*Obr. 36 Umístění vnitřní látky*



V další fázi bylo očko ponořeno do polymerního roztoku a následně přetaženo přes bazének, viz obr. 37. Takto se vytvořila tzv. blanka, která přilne na hladinu vnitřní látky, čelo bazénku i jeho boční stěnu. Je nutné, aby bylo ponořeno celé očko, aby se vytvořila dostatečně silná blanka a nepraskla ještě před přetažením přes bazének. U této metody záleží i na šikovnosti obsluhy při přetahování blanky přes bazének. Je nutné vytvořit blanku bez vzduchových bublin pod ní.

*Obr. 37 Vytvoření polymerní blanky*

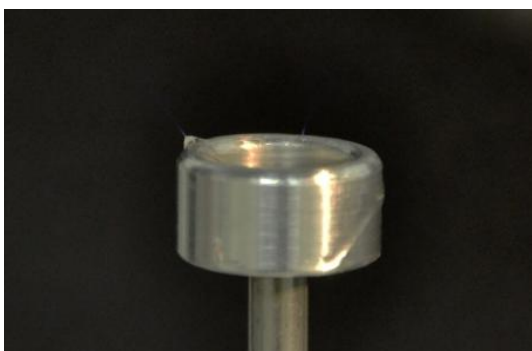


Dalším problémem je časté praskání blanky. Může se tak stát již před samotným zvlákňováním nebo během zvlákňování. V tom případě je třeba bazének vymýt a začít znovu. V tu chvíli, kdy je blanka přetažena přes bazének a nevznikl žádný problém, je možné začít se samotným elektrostatickým zvlákňováním. Tato metoda je jednoduchá a není nijak náročná na přípravu ani při samotném zvlákňování.

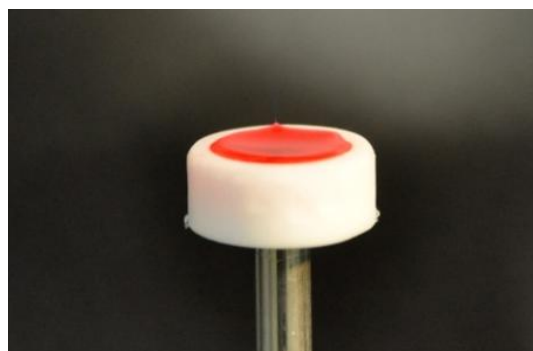
*Obr. 38 Schéma připraveného spinneru pro zvlákňování*

### ***Materiál bazénku***

Pro získání představy, jakou roli hraje vodivost materiálu bazénku při elektrostatickém zvlákňování, bylo toto zařízení vyrobeno z kovového (celovodivého) a teflonového (nevodivého) materiálu.



*Obr. 39 Kovový bazének*



*Obr. 40 Teflonový bazének*

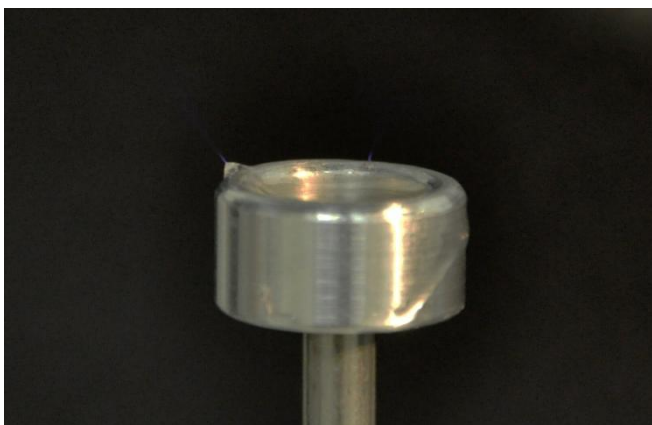
### ***Kovový celovodivý bazének***

První experimenty byly prováděny na kovovém bazénku. Po zapojení celého zařízení do tělesa bazénku přicházel přes vodivou tyč proud, čímž se bazének díky malému odporu materiálu stal zcela vodivým. To zřejmě způsobilo, že docházelo k elektrostatickému zvlákňování z nevhodných míst, jako jsou hrany a stěna bazénku. Ke zvlákňování z hladiny, což bylo podstatou experimentu a nutností pro vznik vláken typu jádro-plášť, nedocházelo.

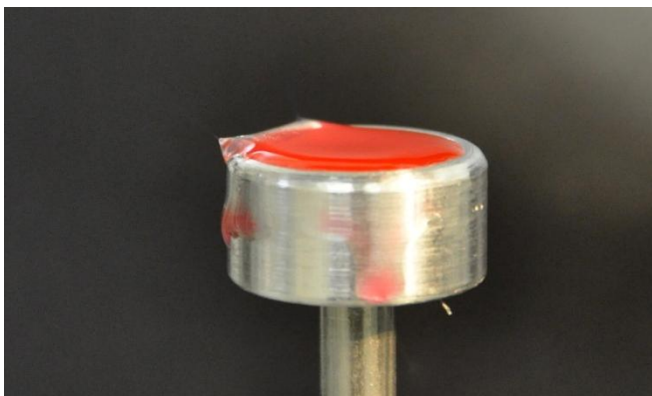
Tento kovový bazének se ukázal jako nevhodný pro tvorbu vláken požadované struktury, a to díky své veliké vodivosti.

Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, byly provedeny na tomto kovovém bazénku zkoušky dvojího typu. V prvním případě byly aplikovány zvláknitelné materiály jak pro jádro, tak i plášť. V druhém případě byl použit zvláknitelný materiál pro plášť a nezvláknitelný pro jádro. U obou variant byly získané stejné výsledky. Nedocházelo zde k požadovanému tvoření vláken z hladiny.

Na *obr. 41* je vyfocen nezdařený proces zvláknování při užití zvláknitelného materiálu (12 hm% PVA) a nezvláknitelného vnitřního materiálu (stolní olej). Z obrázku je patrné, že vlákna vznikají na okraji a stěně bazénku, nikoliv na jeho hladině. *Obr. 42* ukazuje proces tvorby vláken při užití dvou zvláknitelných polymerních roztoků (12hm% PVA – plášť, 5 hm% PEO – jádro). Na obrázku je vidět, že vnitřní materiál, který v tomto případě byl pro názornost obarven červeně, přetéká přes okraj bazénku pod blankou, která je přilnutá na stěnu bazénku. Vlákna se zde tvoří opět na okraji a stěně bazénku.



*Obr. 41 Tvorba vláken ze zvláknitelného a nezvláknitelného materiálu.*



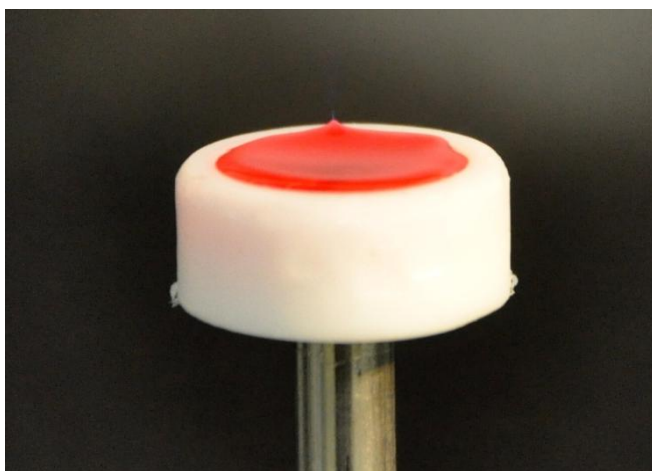
*Obr. 42 Tvorba vláken ze zvláknitelného a zvláknitelného materiálu.*



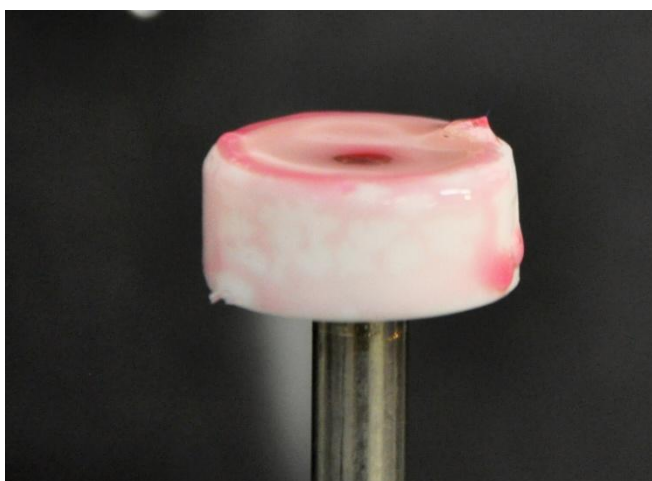
### ***Teflonový nevodivý bazének***

Další experimenty byly prováděny na bazénku vyrobeného z teflonu. Díky nevodivosti tohoto materiálu procházel proud do látky uvnitř bazénku pouze přes vodivou tyč. To mělo za následek, že k elektrostatickému zvlákňování docházelo z hladiny. Vlákna se tvořila z hladiny v blízkosti vnitřního okraje bazénku. Je tedy možné vyvodit závěr, že použití teflonového bazénku je vhodné pro požadované koaxiální elektrostatické zvlákňování. Opět jako v předchozím případě byly provedeny dva typy experimentů. V prvním případě zvláknitelná a zvláknitelná látka a v druhém případě zvláknitelná a nezvláknitelná látka. U obou případů experimentu nenastaly žádné problémy a proces zvlákňování se zdařil.

Na *obr. 43* je zobrazen proces zvlákňování zvláknitelného materiálu (12 hm% PVA) a zvláknitelného materiálu (5 hm% PEO). Z obrázku je jasně vidět, tvorba vláken z hladiny v blízkosti vnitřní hrany bazénku. Vzhledem k tomu, že v tomto případě byla zbarvena vnitřní látka, je zde možno také spatřit, že nedocházelo k sebemenšímu přetékaní látky přes okraj bazénku. U *obr. 44* je jev stejný s tím rozdílem, že jako vnitřní látka je použitý nezvláknitelný stolní olej a obarvená je blanka.



*Obr. 43 Tvorba vláken ze zvláknitelného a zvláknitelného materiálu.*



*Obr. 44 Tvorba vláken ze zvláknitelného a nezvláknitelného materiálu.*

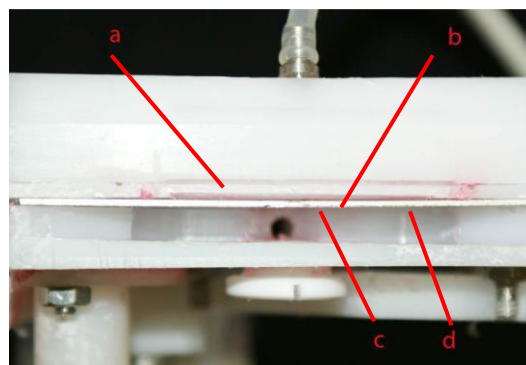
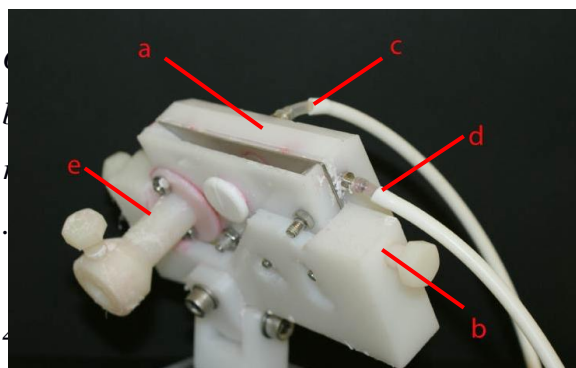
### Poznámka:

Ve všech případech se experimenty uskutečnily za těchto podmínek: napětí při elektrostatickém zvlákňování bylo + 25 - 35 kV, průměrná vlhkost vzduchu v laboratoři 25-45% a teplota okolí 20 C.

### **5.3.2. Přeplavovací spinner**

Druhým zařízením použitým pro experimenty v rámci dané práce byl přeplavovací spinner. I v tomto případě se jedná o zařízení pracující na principu zvlákňování z volné hladiny dvojvrstvy působením elektrostatického pole. Dvojvrstva je složená z polymerního roztoku, kterým bude následně tvořit plášť u bikomponentního nanovlákná a pod ním se nachází vrstva opět polymerního roztoku nebo jiné látky tvořící jádro nanovlákná.

Přeplavovací spinner, jehož základní rozměry jsou 80 x 45 x 27 mm je složen ze dvou plnicích komor o objemech 1ml pro přivádění jádrového a plášťového materiálu, z odtokové komory a z kovového plátu o tloušťce 1mm, ke kterému je přivedeno vysoké napětí kladného náboje. [15] Sestava přeplavovacího spinneru je zobrazena na obr. 45a a detail přeplavovacího spinneru je možné vidět na obr. 45b.



5

*a Sestava přeplavovacího spinneru [20] Obr. 45b Detail přeplavovacího spinneru [20]*

*Ad obr. 45a) (a) přeplavovací spinner, (b) držák pro spinner, (c) hadička pro přívod obalového materiálu, (d) hadička pro přívod jádrového materiálu, (e) držák pro vysokonapěťový kabel.*

*Ad obr. 46b) (a) komora pro přívod plášťového materiálu, (b) komora pro přívod jádrového materiálu, (c) odtoková komora, (d) kovový plát*

### ***Použité materiály pro zvlákňování přeplavovacím spinnerem***

Pro první skupinu experimentů byl pro plášť použit 12 hm% roztok PVA obarvený červeným potravinářským barvivem a pro jádro byl použit stolní olej. Pro druhou skupinu experimentů se použil vodou rozpustný polyvinylalkohol (PVA), který byl připraven v koncentraci 12 hm% roztok pro plášť a 10hm% roztok pro jádro. Polymerní roztok připravený pro tvorbu jádra nanovlákn byl v tomto případě obarven červeným potravinářským barvivem. Barvivo bylo aplikováno z důvodu názorného rozpoznání struktury vlákn. Rozpouštědlem byla v obou případech destilovaná voda.

#### **Poznámka:**

Ve všech případech se experimenty uskutečnily za těchto podmínek: napětí při elektrostatickém zvlákňování bylo cca 30kV, průměrná vlhkost vzduchu v laboratoři ~30% a teplota okolí ~20°C.

## **6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ**

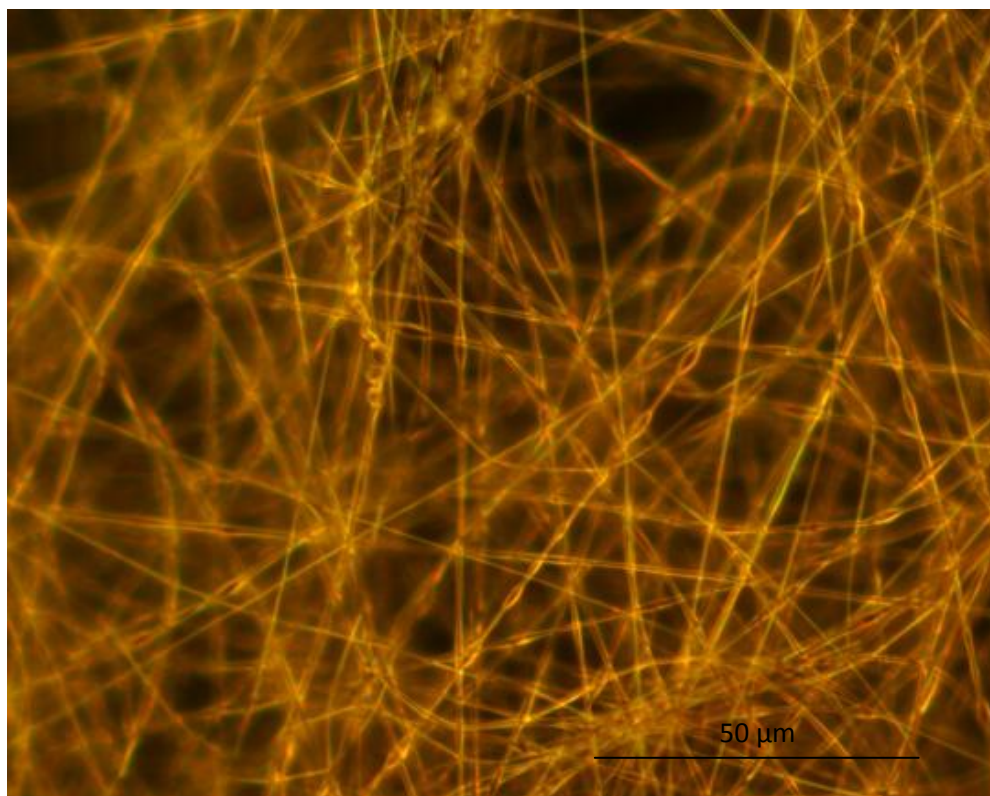
V této kapitole jsou uvedeny výsledky výše zmíněných experimentů. V případě těchto zkoušek nejsou uvedené statistické výsledky, jelikož nedochází k žádným statistickým měřením.

### **6.1. Výsledky experimentů při užití bazénku**

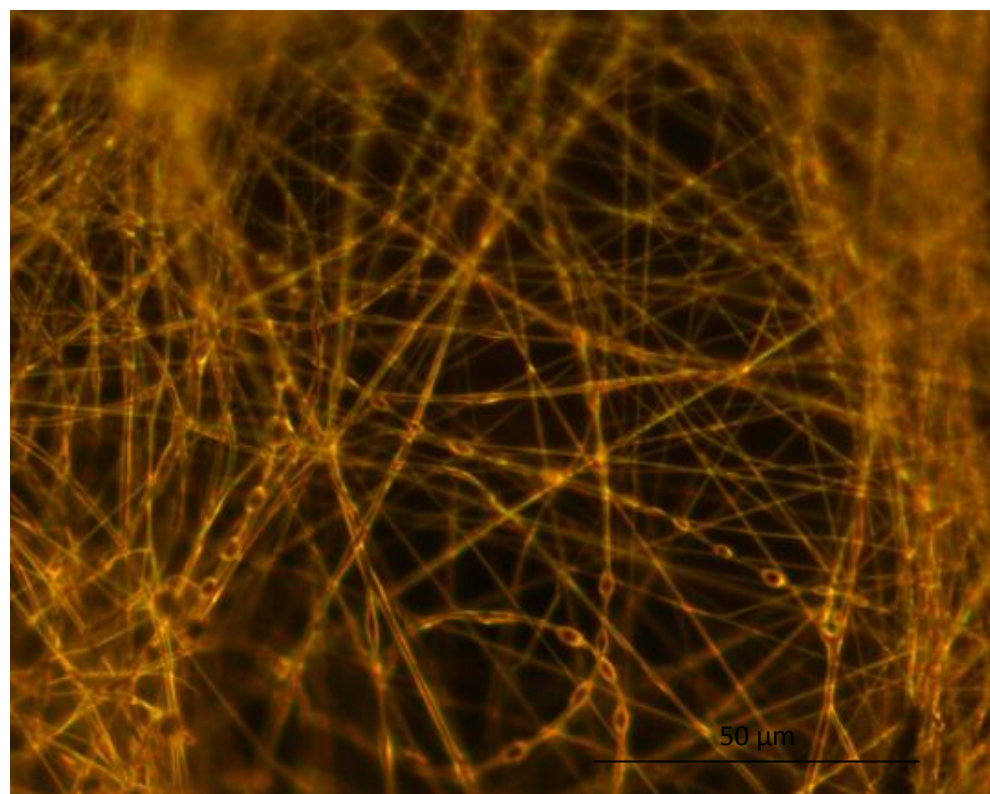
Experimentální část zaměřená na použití zvlákňovacího zařízení ve formě bazénku byla rozdělena na dvě základní skupiny pokusů. První skupina experimentů zahrnovala zvlákňování s využitím zvláknitelné látky pro plášť a nezvláknitelné látky pro jádro. Druhá skupina experimentů obsahovala experimenty, při nichž byla použita zvláknitelná látka jak pro jádro, tak i plášť.

#### **6.1.1. Dílčí výsledky první skupiny experimentů**

Při použití bazénku vyrobeného z teflonu bylo docíleno zhotovení nanovlákněné vrstvy. Jak bylo uvedeno v kapitole 5.3.1, vlákna se tvořila z hladiny a to konkrétně z míst nacházejících se v blízkosti vnitřního okraje bazénku. Takto vzniklá nanovlákněná vrstva byla prozkoumána pomocí optického mikroskopu Nikon Eclipse LV 100. Mikroskop pomocí kamery snímал zkoumané vzorky a přenášel tento obraz do počítače. Pomocí počítačového programu byly zhotoveny fotografie zkoumaných míst. Příklad některých snímků je uveden na *obr. 46 a),b),c),d)*.

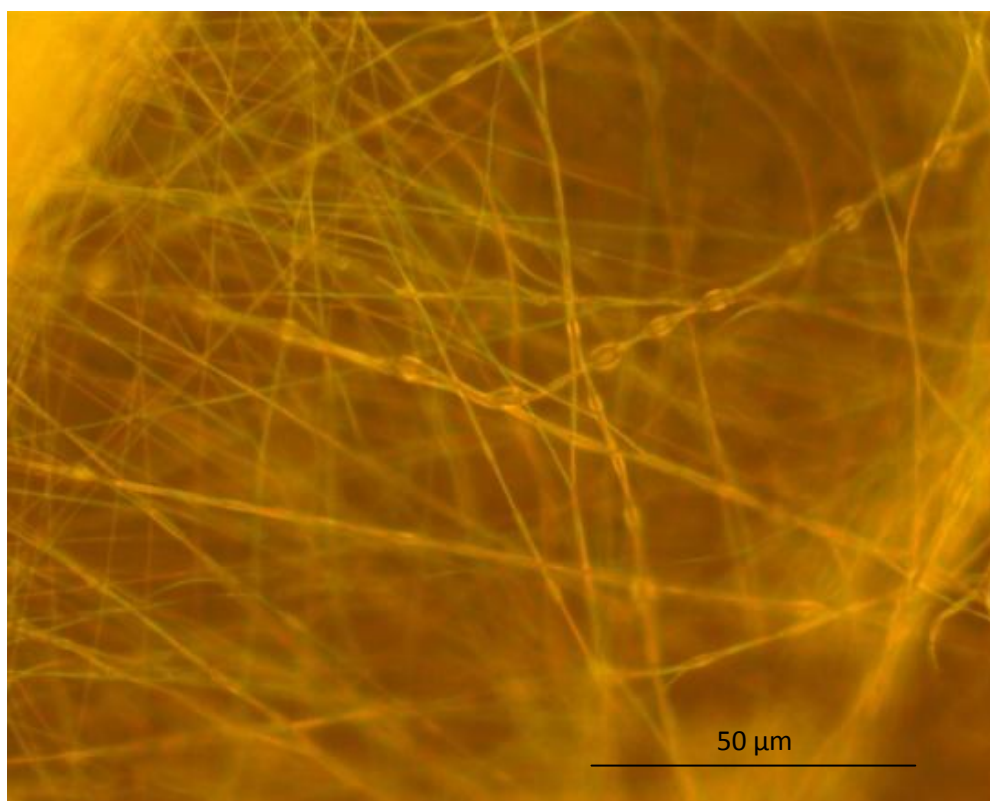


*Obr. 46 a)*

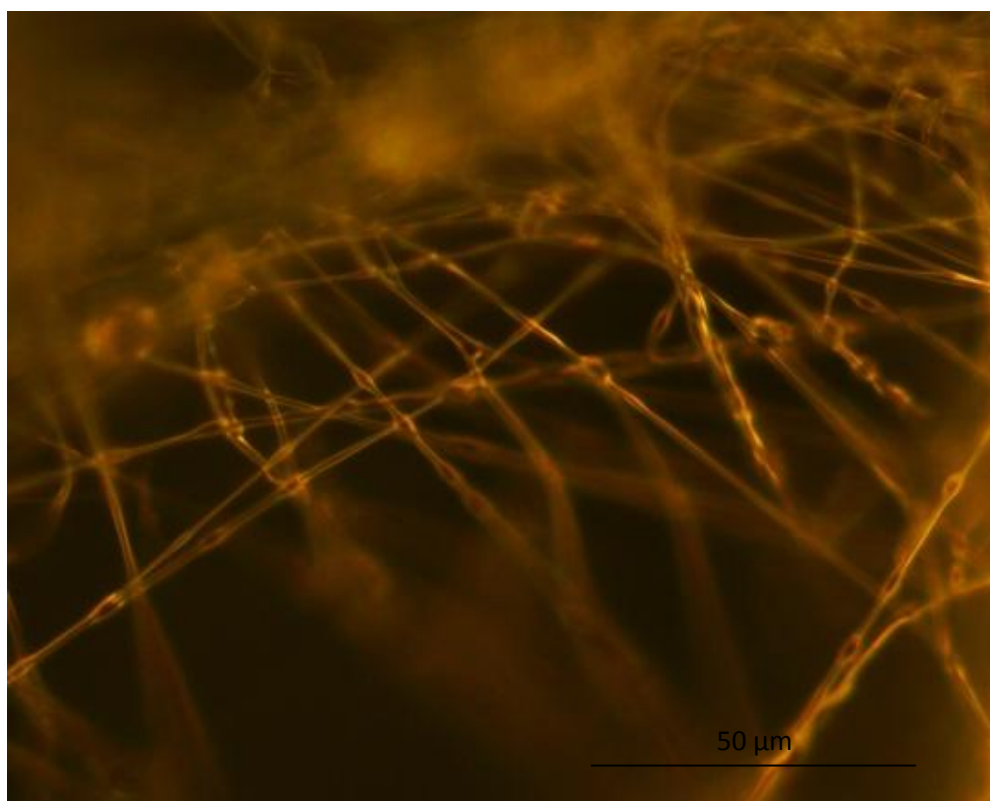


*Obr. 46 b)*





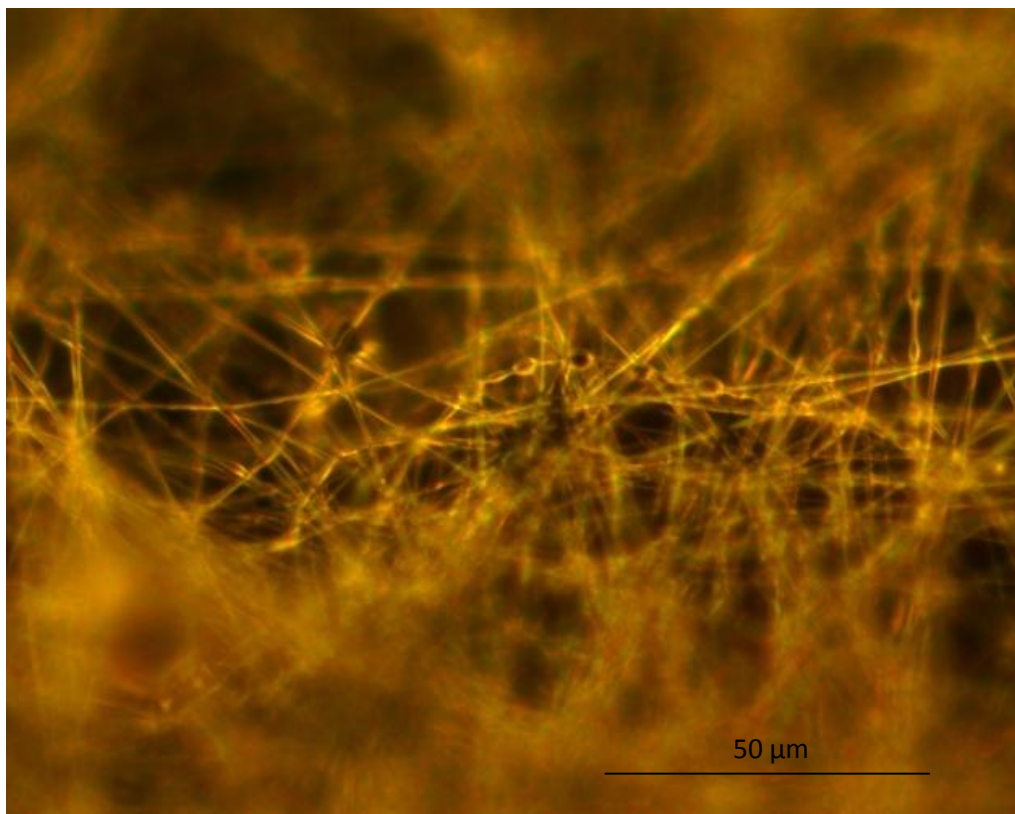
*Obr. 46 c)*



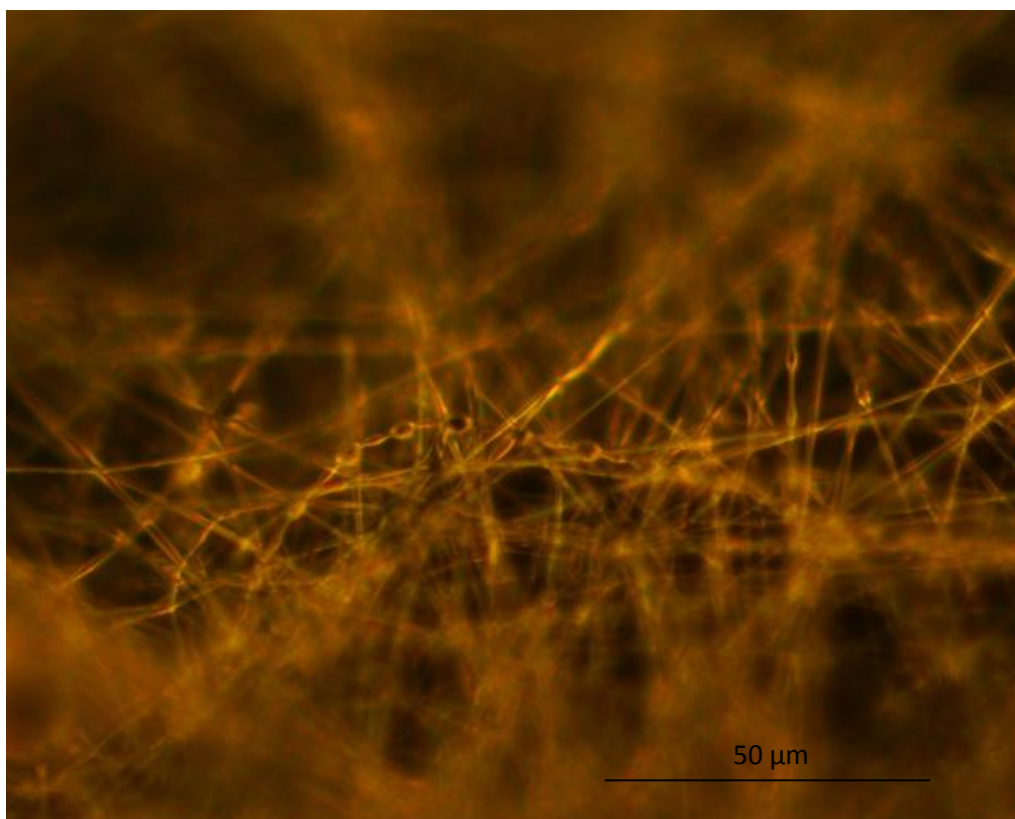
*Obr. 46 d)*

Z výše uvedených snímků není možné zcela definovat, zda se elektrostatickým zvlákňováním z hladiny bazénku opravdu vytvořila bikomponentní vlákna. Pro přesnější určení struktury vláken, by bylo vhodné podrobit danou strukturu bližšímu prozkoumání na konfokálním mikroskopu. Pro tuto variantu je nutné použít fluorescence. Konfokální mikroskop pracuje na principu paprsku zobrazující již zmíněné fluorescence. Pokud je vzorek neobsahuje, tak na mikroskopu není nic viditelné. Vzorky nebylo možné podrobit bližšímu zkoumání pod elektronovým mikroskopem. Jelikož bylo uvažováno, že se uvnitř vlákna nachází tekutina, mohlo by při umístění vzorku do elektronového mikroskopu dojít k jeho poškození.

Dále je z *obr. 46* patrné, že u této metody zvlákňování se nedosáhlo vláken stejné tloušťky a navíc došlo k vytvoření vláken s efektem podobným „korálkování“. Otázkou je, zda tento jev můžeme nazvat tzv. Rayleighovou nestabilitou. Podle rovnoměrného uspořádání kapiček na vláknech by se tak dalo usoudit s tím rozdílem, že u Rayleighovy nestability se uvažuje s nižší koncentrací polymerního roztoku, která se pohybuje kolem 8hm% (provedené experimenty v rámci této diplomové práce byly uskutečněny s polymerním roztokem o koncentraci 12 hm%). Teoreticky lze uvažovat, že kapky viditelné na nanovlákněch jsou tvořené z oleje. Otázkou je zda údajné olejové kapky se nachází na povrchu vlákna nebo jsou zapouzdřené uvnitř. Pro ověření této otázky byl proveden jednoduchý test, kdy byl vzorek nanovlákně vrstvy ve sledovaném místě ofocen a posléze nakloněn přibližně o úhel 30° a ponechán tak po dobu 48 hodin. Předpokládalo se, že v případě olejových kapek na povrchu nanovláken dojde ke stečení, popř. jejich deformaci vlivem působení gravitační síly. Pokud by se tak nestalo, lze uvažovat, že je olej zapouzdřen uvnitř vlákna. Po uplynutí dané doby byl zkušební vzorek opět vyfocen přesně ve stejném místě a bylo shledáno, že nedošlo k žádným změnám. Snímky zhotovené při tomto pokusu jsou uvedené *na obr. 48 a 49*, kdy snímek vlevo ukazuje strukturu před experimentem a snímek vpravo v tomtéž místě po uplynulé době.



*Obr. 47 Struktura před experimentem*

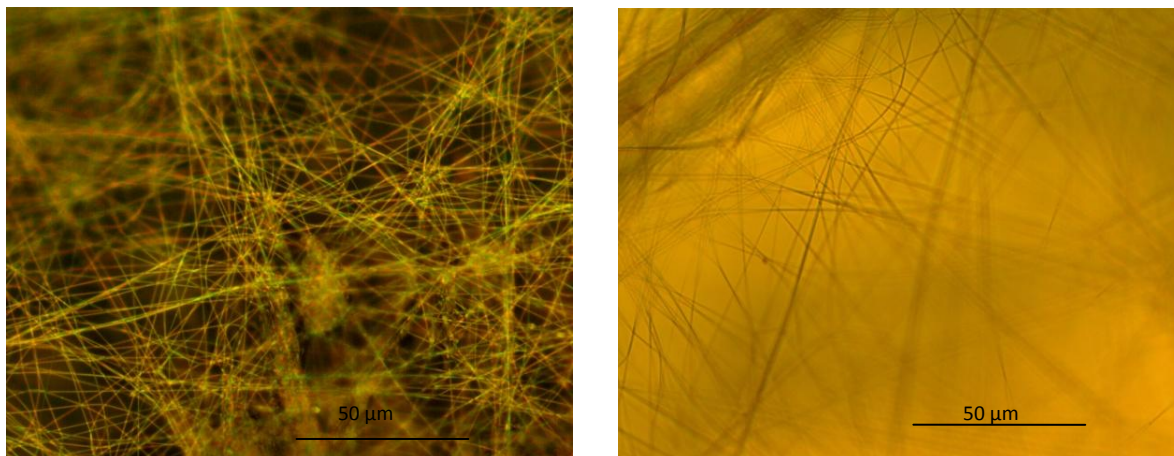


*Obr. 48 Struktura po experimentu*



### 6.1.2. Dílčí výsledky druhé skupiny experimentů

U této skupiny experimentů byly zhotovené snímky výsledné nanovlákněné struktury stejným způsobem jako v předešlém případě. Vybrané fotografie jsou uvedené na *obr. 49*.



*Obr. 49 Vybrané snímky zhotovených vláken*

V porovnání s nanovlákněnou strukturou zhotovenou v předchozím případě zvlákňováním 12 hm% PVA a stolního oleje jsou zde vlákna stejnoměrnější, co se týká jejich tloušťky. Na vláknech se nevyskytují žádné kapky z čehož lze usoudit, že tento efekt byl v předchozím případě zapříčiněn právě použitým olejem.

Co se týká struktury daných nanovláken nelze ji ověřit ze stejného důvodu, jaký je uveden v kapitole 6.1.1.

### 6.2. Výsledky experimentů při použití přeplavovacího spinneru

V této části experimentu nelze vyjádřit žádné závěry, neboť provedené zkoušky neposkytly žádné přijatelné výsledky. Při procesu elektrostatického zvlákňování nedošlo k tvorbě vláken. Pro dosažení plnohodnotných výsledků by bylo nutné provést opravné pokusy, které nebyly uskutečněné z časových důvodů.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo ověřit možnost výroby vláken jádro-plášť pro tkáňové inženýrství pomocí koaxiálního elektrostatického zvlákňování z volné hladiny. Pracovalo se s reálnými materiály, takže tato práce byla podložena reálnými experimenty v laboratořích TUL.

V teoretické části byla nastíněna problematika výroby a principů samotného elektrostatického zvlákňování. Vzhledem k tomu, že je práce vedena k tvorbě bikomponentních vláken pro tkáňové inženýrství, je zmíněna jak problematika tkáňového inženýrství, tak i požadavky na vlákna typu jádro-plášť. Byl proveden průzkum českého trhu výroby v oblasti jak netkaných textilií, tak nanovláken samotných. V patentové rešeršní části je uvedeno několik celosvětových patentů k danému tématu.

Výroba vláken jádro-plášť byla prováděna pomocí zvlákňovacího zařízení tzv. bazénku. Toto zařízení bylo vytvořeno ze dvou materiálů. Bazének celovodivý - kovový a nevodivý - teflonový. Zkoušky prokázaly, že pro elektrostatické zvlákňování je vhodný nevodivý bazének. V druhém případě je zvlákňování neefektivní, protože zkoušený materiál stéká a díky vodivosti dochází ke zvlákňování ze stěny bazénku a ne z jeho hladiny. Jako vnitřní materiál (jádro) byl použit stolní olej a pro vnější (plášť) 12hm% Polyvinylakoholu (PVA). Tato varianta byla použita pro výrobu nanovláknenné vrstvy, kdy je ve vláknech jako jádro umístěno elektrostaticky nezávláknitelné léčivo. V druhé variantě byl stolní olej nahrazen 5hm% Polyethylenglykolem (PEO) a 12hm% PVA byl sesítován. Tento nosič je připraven pro přenesení živých buněk a tkání a následnou implantaci do těla postiženého.

Hlavní částí experimentů bylo vytvořit vlákna typu jádro-plášť s jádrem z nezávláknitelného materiálu. Vzorky, které byly zhotoveny, poukazují na možnost vnesení oleje do středu vlákna a k jeho zapouzdření. Vlákna vytvořená touto metodou olej-PVA jsou silnější než vlákna ze samotného PVA, nejsou rovnoměrná a po jejich délce jsou tvořeny perličky. I přes větší průměr jsou vlákna stále v řádech nanometrů a tak je těžké ověřit jejich strukturu a složení. Vzorky byly zkoumány na optickém mikroskopu, ale ten není dostačující. Byla provedena zkouška s nakloněním vzorku po určitou dobu. Vzorek byl pozorován před a po uplynutí zkoušené doby a byl nezměněný. Z tohoto testu se dá vyvodit závěr, že je stolní olej zapouzdřen uvnitř vlákna a ne na jeho povrchu. Pokud by se nacházel na povrchu, došlo by vlivem gravitace ke stečení perliček, popřípadě jejich slítí na povrchu vlákna.

Závěrem je tedy možné dát tvrzení, že došlo k vytvoření vlákna jádro-plášť pomocí zvoleného zařízení pro koaxiální elektrostatické zvlákňování z hladiny . V této oblasti je ještě mnoho neprobádaného a tato diplomová práce by mohla přispět k dalšímu vývoji a výzkumu v oboru tkáňového inženýrství a jeho možností. Je nutné provést ještě mnoho experimentů, než bude možné s určitostí říci, že jsou dané hypotézy opravdu potvrzeny.

## Použitá literatura

1. Co jsou nanotechnologie, 2. díl. [Online] 2011. [Citace: 18. Duben 2011.] <http://www.nanosilver.cz/Tema/Proc-nanosilver/Co-jsou-nanotechnologie-2-dil>.
2. *Nanovlákná – Materiál 3. tisíciletí*. [Online] 2011. [Citace: 22. Duben 2011.] <http://www.hobbystranky.cz/zajimavosti/nanovlakna-material-3-tisicileti>.
3. *Převratné nanovlákná*. [Online] 27. Červen 2009. [Citace: 2. Květen 2011.] <http://literarky.cz/civilizace/89-civilizace/983-pevratne-nanovlakno>.
4. **Vysloužilová L., Vodsed'álková K., Pokorný P., Lukáš D. and Buzgo M.**, *Needleless co-axial electrospinning*, In: Nanofibers for the 3rd Millennium, 2010 Conference, August 30 – September 1, 2010, North Carolina, USA
5. **Sodomka, J.** *Jednoduché teoretické úvahy ke zvláknování nanovláken*. Liberec : Technická univerzita Liberec, 2009.
6. *Nanotechnologie z Liberce mají budoucnost i za oceánem*. Web *Hospodářských novin - IHNED.cz*. [Online] 28. Únor 2008. [Citace: 27. Březen 2011.] [http://digiweb.ihned.cz/c3-23053440-009000\\_d-nanotechnologie-z-liberce-maji-budoucnost-i-za-oceanem](http://digiweb.ihned.cz/c3-23053440-009000_d-nanotechnologie-z-liberce-maji-budoucnost-i-za-oceanem).
7. *Nanotechnologie*. Web *Technické univerzity v Ostravě*. [Online] [Citace: 26. Duben 2011.] [www. nanotechnologie.vsb.cz](http://www.nanotechnologie.vsb.cz).
8. **Prnka, Tasilo.** *Výzkum nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA, Pátý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje*. Ostrava : Repronis, 2001.
9. **Koukal, Milan.** *Kde se kovají kouzelné střely. 21. Století: Revue objevů, vědy, techniky a lidí*. 2006, Sv. 2.
10. **Moudrá, Lenka.** *Ambivalence nanotechnologie*, diplomová práce. Brno : Masarykova univerzita, 2006.
11. *Elmarco, výrobce nanovláken, posiluje výzkum*. Web Jihomoravského inovačního centra. [Online] [Citace: 27. Duben 2011.] [www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/elmarco--vyrobce-nanovlaken--posiluje-vyzkum/](http://www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/elmarco--vyrobce-nanovlaken--posiluje-vyzkum/).
12. *První veřejný nanospinner*. Web *IQ Park Liberec*. [Online] 23. Leden 2009. [Citace: 4. Duben 2011.] [http://www.iqpark.cz/cs/media/novinky.ep/26\\_212-prvni-verejny-nanospinner/](http://www.iqpark.cz/cs/media/novinky.ep/26_212-prvni-verejny-nanospinner/).
13. *Nanovlákná*. Web Katedry netkaných textilií. [Online] 13. Duben 2004. [Citace: 12. Duben 2011.] [http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/galerie/vyzkum\\_big/14.jpg](http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/galerie/vyzkum_big/14.jpg).
14. **Košťáková, Eva.** *Výroba polymerních nanovláken ( s výjimkou elektrostatického zvláknování)*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2011.
15. **Tores, Sandra.** *Enhanced Electrospinning. Presentation of the results*. 2005.

16. **Komárek, Michal.** *Elektrostatické zvlákňování polymerních tavenin. Autoreferát disertační práce. Interní publikace.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2010.
17. *Understanding Electrospray Regimes.* [Online] 31. Leden 2009. [Citace: 6. Březen 2011.] <http://phd.marginean.net/regimes.html>.
18. **Chaloupek, Jiří.** *Smáčení vláknenných útvarů. Teze disertační práce. Interní publikace.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2007.
19. *Rayleigh-Plateau Instability.* [Online] 26. Zář 2007. [Citace: 2. Květen 2011.] <http://mathmodelingfall2007.pbworks.com/w/page/20545410/Rayleigh-Plateau%20Instability%20Project>.
20. **Vysloužilová, Lucie.,** Bezjehlové koaxiální elektrostatické zvlákňování, In: Workshop pro doktorandy Fakulty strojní a Fakulty textilní Technické Univerzity v Liberci, str. 114-118, Rokytnice, 20.-23.zář 2010, ISBN 978-80-7372-642-3
21. Nanovlákn. *Wikipedie, Otevřená encyklopedie.* [Online] 5. Listopad 2010. [Citace: 8. Duben 2011.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nanovlákn>.
22. *V Česku vzniká unikátní bunda z nanovláken.* [Online] 14. Duben 2011. [Citace: 2. Květen 2011.] [http://byznys.lidovky.cz/v-cesku-vznika-unikatni-bunda-z-nanovlaken-fj9-/firmy-trhy.asp?c=A110414\\_100626\\_firmy-trhy\\_nev](http://byznys.lidovky.cz/v-cesku-vznika-unikatni-bunda-z-nanovlaken-fj9-/firmy-trhy.asp?c=A110414_100626_firmy-trhy_nev).
23. **Gerla, Václav.** *Nanotechnologie v medicíně.* [Online] 20. červen 2006. [Citace: 15. Duben 2011.] <http://nanomedicina.sweb.cz/>.
24. **Amler, Evžen a kol.** *Lékařské textilie - 2.díl.* Praha : Asociace inovačního podnikání ČR, 2008.
25. **X. Ma, Peter a Elisseff, Jennifer.** *Scaffolding In Tissue Engineering.* New York : Taylor & Francis, Inc., 2005. ISBN: 9781574445213.
26. **Bazilevsky, Alexander V. et al.** Co-electrospinning of Core–Shell Fibers Using a Single-Nozzle Technique. *Langmuir.* 2007, 23.
27. **Lukáš, D. et al.** *Physical principles of electrospinning (electrospinning as a nano-scale technology of the twenty-first century.* Liberec : Technická univerzita Liberec, 2009.
28. Nanopharma, produkty. *Web společnosti Nanopharma.* [Online] Internet a design Prosperita, 2010. [Citace: 18. břez 2011.] [www.nanopharma.cz](http://www.nanopharma.cz).
29. Technologie Nanospider. *Web společnosti Elmarco - Nano for life.* [Online] Produkce Versoft, 2011. [Citace: 19. Břez 2011.] [www.elmarco.cz](http://www.elmarco.cz).
30. Produkty Pegatex. *Web společnosti Pegas Nonwovens.* [Online] webProgress, 2011. [Citace: 26. Břez 2011.] [www.pegas.cz](http://www.pegas.cz).

31. *Kertak Nanotechnology*. [Online] 2010. [Citace: 1. Březen 2011.] <http://www.kertaknanotechnology.com/en/technology>.
32. **Lorah, Dennis et al.** *Alkali-resistant core-shell polymers*. 5,212,251 USA, 18. Květen 1993.
33. **Hoke, Ahmet et al.** *Therapeutic Electrospun Fiber Compositions*. US 2010/0303881 A1 USA, 2. Prosinec 2010.
34. **Xia, Younan et al.** *Electrospinning of fine hollow fibers*. US 7,575,707 B2 USA, 18. Srpen 2009.
35. **Linhartová, Beáta.** *Nanovlákná na bázi hyaluronanu*. Bakalářská práce. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2008.
36. *Nikon Instruments Europe B.V.* [Online] 2011. [Citace: 5. Květen 2011.] [http://www.nikoninstruments.eu/cz\\_CZ/Vyroby/Mikroskopicke-systemy/Vzprimene-mikroskopy/Polarizing/Eclipse-LV100-POL](http://www.nikoninstruments.eu/cz_CZ/Vyroby/Mikroskopicke-systemy/Vzprimene-mikroskopy/Polarizing/Eclipse-LV100-POL).
37. **Saxena, S.K.** *Polyvinyl alcohol. Chemical and Technical Assessment*. FAO, 2004.

---

---